



Ntthe

Ntthe, palabra ñañhò (otomí) que significa "vínculo" o "enlace" (se pronuncia "enté")

ISSN 2007-9079

Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ISSN 2007 - 9079, Edición especial, septiembre - 2022

The logo for the 9th Encuentro, featuring a large "9" with a degree symbol, an eye icon with a camera lens, and the text "ENCUENTRO DE JÓVENES INVESTIGADORES DEL ESTADO DE QUERÉTARO".

9° 

ENCUENTRO
DE JÓVENES INVESTIGADORES
DEL ESTADO DE QUERÉTARO

"Ideas jóvenes para impulsar el crecimiento del país"

Ciencia, Tecnología e Innovación

Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 13, edición especial, septiembre 2022. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela; calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: septiembre de 2022

Nthe ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

EDICIÓN Y DISEÑO DE LA PUBLICACIÓN
LIC. FELIPE DE JESÚS ESPERÓN VALENZUELA

CORRECCIÓN DE ESTILO
DRA. MARÍA LUISA ÁLVAREZ MEDINA
LIC. MONSERRAT ACUÑA DELGADO

Nthe, Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
<http://nthe.mx/>

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, unidad Querétaro

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García

Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el Trabajo, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jóns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA



La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 23 de diciembre de 2021. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario *Nthe*

Con el fin de fortalecer la difusión de artículos inéditos de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) generada en la comunidad investigadora, les presentamos con agrado la edición especial de la revista electrónica *Nthe*. Esta publicación está dedicada a 18 trabajos presentados por estudiantes de licenciatura y posgrado participantes en el “9º Encuentro de Jóvenes Investigadores en Querétaro”, el cual fue apoyado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ).

Este encuentro ha tenido la finalidad de identificar jóvenes talentos a través de la presentación de resultados de proyectos de investigación que fortalecieran la creatividad y las capacidades de innovación científica en el Estado de Querétaro. La organización corrió a cargo de la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), a cargo de la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, con la coordinación de la M. en GIC. Karina Villarauz Camargo. Los artículos fueron sometidos a revisión de un comité científico y un grupo de jurados quienes dictaminaron a partir de los criterios de originalidad, contribución al conocimiento, beneficios de la aplicación de los resultados, redacción, así como el soporte teórico y metodológico.

Expresamos nuestro reconocimiento a quienes hicieron posible la edición de esta publicación dedicada a los trabajos del “9º Encuentro de Jóvenes Investigadores en Querétaro”. Además, esperamos que la contribución de la presente sea de su interés y aporte nuevos estudios a la comunidad académica y científica.

Dr. Enrique Rabell García
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios

Perla del Refugio Escamilla Martínez
Vanessa del Carmen Muriel Amezcua
Universidad Autónoma de Querétaro

1

Quercetina y su fermentado en HT-29 sometidas a BPA

Nataly García-Gutiérrez
Haydé Azeneth Vergara-Castañeda
Departamento de Investigación Biomédica
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Querétaro

8

Los micromachismos encarnados en la cotidianidad universitaria

Karla Paola Díaz Guerrero
Guillermo Hernández González
Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Querétaro

17

Asociación de variantes genéticas de MC4R, PCSK1 y POMC a obesidad

Ricardo Omar Cadena López
Valeria Jaqueline Soto Ontiveros
Beatriz Adriana Aguilar Galarza
Miriam Aracely Anaya Loyola
Teresa García Gasca
Willebaldo García Muñoz
Víctor Manuel Rodríguez García
Ulisses Moreno Celis
Ingeniería en Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro
Código 46 SA de CV, Cuernavaca, Morelos
Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Querétaro

28

Con un poco de ayuda: Calidad de los gobiernos locales e impacto económico en México

Carlos Armando Salas Benítez
Enrique Leonardo Kato Vidal
Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma de Querétaro

36

Análisis de la radiación del fondo cósmico de microondas usando modelos cosmológicos

Samuel Durán Martínez
Alberto Hernández Almada
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

44

La disminución de antocianinas no explica la reversión de color en zarzamora

Ángel R. Flores Sosa
Diana Soto Magaña
Luis E. González de la Vara
Lino Sánchez Segura
Moustapha Bah
Dulce M. Rivera Pastrana
Gerardo M. Nava
Edmundo M. Mercado Silva
Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro
Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Unidad Irapuato, CINVESTAV-Irapuato
Departamento de Ingeniería Genética, Unidad Irapuato, CINVESTAV-Irapuato
Posgrado en Ciencias Químico Biológicas, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro

50

Síntesis parcial de citroflavonoides a partir de la naringina

Mónica F. Martínez Coronado
Eloy Rodríguez de León
Alejandro Núñez Vilchis
Areli Rodríguez Ontiveros
Moustapha Bah
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro

58

ÍNDICE

Intervención grupal en adicciones: el libro infantil como herramienta con adultos

Valeria Mendoza García
Daniela Amairani Hernández Rangel
Melissa Calderón Carrillo
UAQ, Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Querétaro

67

Fisiología poscosecha de tomates orgánicos y convencionales

Carolina N. Reséndiz Nava
María G. Rendón Ducoing
Ángel R. Flores Sosa
Gerardo M. Nava
Ma. E. Vázquez Barrios
Dulce M. Rivera Pastrana
Fernando Alonso Onofre
Edmundo M. Mercado Silva
Departamento de Investigación y
Posgrado en Alimentos
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro
Centro Universitario CEICKOR

75

Aplicación de un sensor alternativo de lactato no enzimático

Erick Salinas Ávila
Janet Ledesma-García
Ricardo A. Escalona-Villalpando
Ingeniería en Nanotecnología
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

80

Materiales foto-resistores sintetizados por crecimiento químico en solución

P.D. Gómez-Barrales
A.A. Gutiérrez-Gil
M. Serrano-Romero
Y. Jiménez-Flores
Ma. Del C. Alcántara-Téllez
I.R. Chávez-Urbiola
M.B. Ortuño-López
Tecnológico Nacional de México
Campus Querétaro

89

Propiedades electrónicas- vibracionales en semiconductores de la familia III-N

Juan Manuel Ramírez García
José Alonso López Miranda
Daniel Olguín Melo
Ingeniería Física
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
CINVESTAV-Unidad Querétaro

99

Generación de energía eléctrica solar: caso de estudio en Amealco de Bonfil, Qro.

José Alberto Cano Piña
Ezequiel Sánchez Reza
Mario Trejo Perea
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

107

Hallazgos sobre prácticas sexuales y placer en mujeres jóvenes

Edith Viridiana Carranza Álvarez
Úrsula Gayou Esteva
Facultad de Bellas Artes
Universidad Autónoma de Querétaro

117

Propuesta de una aplicación móvil de salud mental para adolescentes

Yadira Pérez Márquez
Luis Maobert Casillas Avila
Pamela Garbus
Angélica Juárez Loya
Facultad de Psicología
Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Psicología
Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la
Fuente Muñiz
Secretaría de Salud, México

128

ÍNDICE

Bacterias deterioradoras y su control con bacteriófagos

135

Alexia Joana López Gachuzo
Sofía Ma. Arvizu Medrano
Mauricio A. Redondo Solano
Dalia E. Miranda Castilleja
Silvia L. Amaya Llano
Universidad Autónoma de Querétaro

Redes multicapa como herramienta de análisis de la microbiota

141

Víctor Lázaro Vidal
Zyanya Mayoral Peña
Etzel Garrido
Roberto Álvarez Martínez
Laboratorio de Genética Molecular y Ecología Evolutiva
Laboratorio de Biología Cuantitativa y Sistemas Complejos
Laboratorio de Evolución Teórica y Aplicada
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro

Estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios

Perla del Refugio Escamilla Martínez¹, Vanesa del Carmen Muriel Amezcua¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Correspondencia: perla.esmtz@gmail.com ; vanesa.muriel@uaq.mx

Resumen

La adecuación de los entornos de aprendizaje y las estrategias de enseñanza dependen de las características y estrategias que los estudiantes utilizan para aprender y para procesar la información. El presente estudio es parte de un diagnóstico inicial para la creación de un entorno *blended learning*. Para ello, se identificaron las estrategias de aprendizaje y de procesamiento estratégico de la información que utilizan los estudiantes de ingeniería del Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, S.L.P., a través de la técnica del grupo de discusión llevada a cabo mediante una sesión en línea con estudiantes participantes voluntarios.

Los hallazgos muestran que los estudiantes tienen una actitud favorable ante el estudio, han desarrollado estrategias de autoaprendizaje a partir del cambio de modalidad de presencial a en línea, utilizan estrategias como los apuntes y diagramas para recordar información, consideran importante la incorporación de herramientas tecnológicas para el fomento de la interactividad y el acercamiento con ejemplos reales, así como conferencias con expertos, entre otras. Esto permitirá el diseño de estrategias didácticas adaptadas al contexto educativo.

Palabras clave: aprendiz, cognición, enseñanza superior, formación profesional, métodos de aprendizaje

Abstract

Adequacy of learning environments and teaching strategies rely on the student's characteristics and strategies to learn and to process information. The current investigation is part of an initial diagnosis for the creation of a blended learning environment. For this purpose, the students of the Instituto Tecnológico Superior de Rioverde, S.L.P. shared their learning strategies and strategic information processing through a discussion group technique which was made on-line with six volunteers.

Data shows students who have a favorable attitude toward study, have developed self-learning strategies for the modality change from on-site to on-line. They use strategies such as taking notes and doing diagrams to remember information. They also consider important the incorporation of IT tools for the promotion of interactivity, as well as approach with real life examples and conferences with experts, among other strategies. This information will enable the design of didactic strategies adapted to the educational context.

Keywords: learner, cognition, higher education, vocational training, learning methods

Introducción

Disminuir la distancia entre la emisión y la recepción es un trabajo pedagógico que debe partir del conocimiento de las condiciones sociales del educando y del código lingüístico, medios gráficos o gestuales. La productividad pedagógica sólo puede darse con base en el diagnóstico de habilidades previas y de la concepción de heterogeneidad del grupo social a quien se dirige la enseñanza.

De acuerdo con el último informe del Educause Horizon Report (2021), los modelos híbridos y la educación virtual son grandes tendencias educativas con evidencias de satisfacción en los estudiantes, que requieren un cambio en los elementos que se solían priorizar. Para tal efecto, se consideran decisivos la humanización y los enfoques teóricos cognitivos, metacognitivos, así como la detección de las motivaciones que tienen los estudiantes para aprender. En este sentido, es importante un acercamiento a los estudiantes para identificar sus intereses, sus métodos de estudio, sus estrategias de aprendizaje y los procesos cognitivos que siguen en su proceso de aprendizaje.

De acuerdo con Piaget (1973), es necesario cuestionarse la finalidad de la educación. Al respecto, es importante distinguir entre propósitos como aprender a aprender, aprender a innovar o a repetir. En consecuencia, con tales propósitos, es imprescindible encontrar una coincidencia entre las estrategias de aprendizaje y dichos fines.

Perspectivas de aprendizaje

Existen diferentes concepciones sobre lo que es el aprendizaje, de acuerdo con Zapata-Ros (2015), existe un consenso en que el aprendizaje es concebido como “el proceso o conjunto de procesos a través del cual o de los cuales, se adquieren o se modifican ideas, habilidades, destrezas, conductas o valores como resultado o con el concurso del estudio, la experiencia, la instrucción, el razonamiento o la observación” (p.73), la importancia de entender el proceso de aprendizaje ha llevado al nacimiento y consolidación de diferentes teorías para entender este proceso.

De acuerdo con Pozo (1999), los elementos necesarios para que se pueda dar el aprendizaje de manera clara y delimitada son: los resultados, los procesos de aprendizaje y las condiciones de aprendizaje. Uno de los elementos que más se puede manipular como educadores son las condiciones de aprendizaje, ya que los procesos se ven influidos por las condiciones y hacen referencia a la actividad mental del estudiante, la cual en gran parte depende de sí mismo. Los resultados, por otro lado, son la consecuencia de las condiciones y los procesos de aprendizaje. Entonces, las condiciones del aprendizaje son los elementos donde, en mayor medida, puede tener cabida la intervención educativa.

Promover entornos de aprendizaje donde se privilegie el diálogo, la comunicación y participación activa de los discentes, a través de estructuras multidireccionales y métodos dialécticos que habiliten a los estudiantes a ser parte de una nueva era, donde la interactividad es la clave del futuro comunicativo y donde el progreso sólo podrá tener cabida en la responsabilidad de cada persona de entender y transformar su realidad, requiere de un redimensionamiento de los objetivos de la educación y su utilidad e impacto para el progreso económico, social y moral de la sociedad actual.

Se hace necesario el desarrollo de estrategias para ayudar a la permanencia de los estudiantes, a dotarlos de herramientas que los hagan competitivos con un nivel alto de calidad académica y habilidades para el mundo laboral. Estas estrategias sólo pueden ser diseñadas a partir del entendimiento de las lógicas que un estudiante sigue para aprender, entendido esto como las estrategias que los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Rioverde del programa educativo de Ingeniería Industrial utilizan para aprender.

El modelo educativo en el cual se enmarca esta propuesta es el Modelo Educativo para el siglo XXI: Formación y desarrollo de competencias profesionales por competencias, el cual tiene como referentes teóricos el constructivismo (Vygotsky, 1978), el aprendizaje significativo (Ausubel, et al.,

1983) y el aprendizaje autorregulado de Schunk y Zimmerman (2012).

La dimensión académica se basa en tres ejes principales para el desarrollo de competencias conceptuales, actitudinales y procedimentales (Dirección General de Educación Superior Tecnológica, 2012). Su fortalecimiento sólo es factible a través de la creación de ambientes de aprendizaje activos y autónomos, que permiten la incorporación de nuevas prácticas, el uso de la tecnología y la adecuación de estrategias de enseñanza tanto para la modalidad presencial como en línea, de acuerdo con los programas y planes de estudio.

La presente investigación pretende realizar un análisis cualitativo de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios de una institución de educación superior tecnológica, en el marco de un proyecto de investigación para el diseño de estrategias didácticas en un escenario *blended learning*. Este diagnóstico permitió contar con los insumos de información necesarios para adecuar las estrategias a las necesidades y formas de aprender de los estudiantes. Por lo tanto, la presente investigación pretende dar respuesta a la siguiente pregunta general: ¿Qué estrategias de aprendizaje y de procesamiento estratégico de la información utilizan los estudiantes para aprender en una modalidad en línea?

Objetivo General

Realizar un diagnóstico de las estrategias de aprendizaje y de procesamiento estratégico de la información que utilizan los estudiantes de una Institución de Educación Superior Tecnológica, a través de un grupo de discusión.

A continuación, se describen los supuestos, categorías, definiciones, así como las preguntas de investigación que guían la presente investigación.

El primer supuesto del que parte esta investigación es que la detección de necesidades de aprendizaje, así como la identificación de estrategias de los estudiantes dan la pauta para el diseño de estrategias

diversas y de contenido significativo para los estudiantes. El cual parte de la categoría *Estrategias de aprendizaje*, entendidas como el conjunto organizado, consciente e intencional de lo que hace el aprendiz para con eficacia un objetivo de aprendizaje en un contexto social dado (Gargallo, Suárez-Rodríguez, Pérez-Pérez, 2009). La pregunta que trata de responder esta categoría es: ¿Cuáles son los enfoques y estrategias de aprendizaje que más probablemente traigan los estudiantes a tu programa?

El segundo supuesto es que los principios de las corrientes teóricas del cognitivismo y constructivismo promueven el desarrollo de un aprendizaje significativo y activo por parte del estudiante, este supuesto corresponde a la categoría *Estrategias de procesamiento estratégico de la información*, están son definidas como estrategias contempladas en los modelos de procesamiento de la información que incluyen la adquisición, elaboración, organización y almacenamiento (Gargallo, Suárez-Rodríguez y Pérez-Pérez, 2009). La pregunta que guía esta categoría es ¿Cómo la tecnología puede ser usada para abastecer las diferencias en las estrategias de aprendizaje de los estudiantes?

Metodología

Con el fin de conocer las estrategias de aprendizaje que utilizan los estudiantes universitarios, se llevó a cabo un grupo de discusión. Ésta es “una técnica no directiva que tiene por finalidad la producción controlada de un discurso por parte de un grupo de sujetos que son reunidos, durante un espacio de tiempo limitado, a fin de debatir sobre determinado tópico propuesto por el investigador” (Gil, 1993, p.200). Se considera su pertinencia para profundizar en las estrategias que utilizan los estudiantes universitarios para aprender. es una técnica apta para la producción y registro del discurso grupal (Gutiérrez, 2011).

El grupo de discusión se desarrolla con un guion de preguntas de tipo semiestructuradas y abiertas. Lo que

se pretende es identificar las percepciones que tienen los estudiantes sobre las estrategias que utilizan para aprender y el procesamiento estratégico que hacen de la información. Las dimensiones se basan en la propuesta de Castellanos, Di Giusto y Martín (2010) y Gargallo, Suárez-Rodríguez, Pérez-Pérez (2009) usadas para la construcción de un instrumento que identifique las estrategias de aprendizaje y el procesamiento estratégico de la información en estudiantes universitarios, Estas categorías coinciden con las tres fases de: adquisición, transformación y recuperación de la información presentadas por Martín del Buey (2000) que describen el Procesamiento Estratégico de la Información (PEI).

En el grupo de discusión, participaron de manera voluntaria seis estudiantes, tres de género masculino y tres de género femenino. Se les hizo llegar una invitación abierta vía plataforma, en la cual cursan algunas de las asignaturas del semestre en curso., El objetivo del grupo de discusión se enfocó en determinar dos dimensiones: las estrategias de aprendizaje y el procesamiento estratégico de la información. Las dimensiones del grupo de discusión surgen de los supuestos que fueron identificados en la construcción del marco teórico, los cuales permiten la precisión de las categorías de diagnóstico inicial.

Aplicación del grupo de discusión

El grupo de discusión se integró de seis participantes, tres de género masculino y con tres estudiantes del género femenino. Se seleccionaron al azar, su participación fue voluntaria y se les contactó a través de su correo electrónico institucional. a sesión tuvo una duración de 40 minutos y se llevó a cabo a través de videollamada grupal. La sesión fue grabada tanto en video como en voz con la intención de tener un registro que pudiera analizarse posteriormente.

En el caso del grupo de discusión, el enfoque interpretativo de los resultados se llevó a cabo a través de la hermenéutica de validación. Su elección se basa en que este tipo de enfoque “defiende la validez o la objetividad de la interpretación por encima y en contra, de los intereses, prejuicios, marcos de

interpretación o deseos del investigador” (Sandín Esteban, 2003, p.61).

Para la codificación de las respuestas del grupo de discusión, se preparó un informe. Una vez concluida la actividad, se tomaron citas y transcripciones de las opiniones que representaron opciones de cada una de las unidades de análisis y de cada pregunta.

Se realizó un análisis del grupo de discusión en el programa informático ATLAS.ti. Se llevó a cabo una transcripción del mismo mediante un procesador de texto para ser analizada de acuerdo con las categorías que la conformaron, a partir de la siguiente guía:

Actitud Positiva ante el estudio

P1- ¿Cómo consideras tu actitud ante el estudio y por qué?

P2- ¿Te crees capaz de superar las tareas difíciles?

Selección y uso de estrategias

P3- ¿Qué estrategias usas para entender un texto?

P4- ¿Cómo organizas la información para entender los conceptos e ideas principales?

Control estratégico y personal

P5- ¿Cómo controlas la forma y los tiempos cuando estás estudiando para hacerlo de manera efectiva?

P6- ¿Qué haces cuando necesitas recordar una información?

Metaconocimiento estratégico

P7- ¿Conoces técnicas para mejorar tu concentración y atención?

P8- ¿Conoces tus puntos fuertes y débiles para aprender?

Resultados

En los siguientes gráficos se muestran las redes semánticas de la unidad hermenéutica derivada del grupo de discusión. La primera muestra la red de las estrategias de aprendizaje y el procesamiento de la información. La segunda muestra las recomendaciones de los estudiantes en cuanto a cómo les gustaría aprender usando herramientas tecnológicas.

De acuerdo con cinco puntos nodales encontrados en los análisis de las respuestas, se formó la red con las categorías mostradas en la Figura 1. Las respuestas indican que para que exista un aprendizaje significativo, es importante la forma en cómo se procesa la información. Razón por la cual algunos estudiantes mencionan la relevancia de aplicar lo que se aprende en las actividades o tareas asignadas en cada materia que cursa.

Una de las citas más relevantes al respecto es la siguiente: “Mostrando un ejemplo, que se pueda dar una confianza entre el maestro y el alumno para realizar las preguntas y que no tengamos que resolver la mayoría entre los alumnos” (participante 2, comunicación personal, 2021).

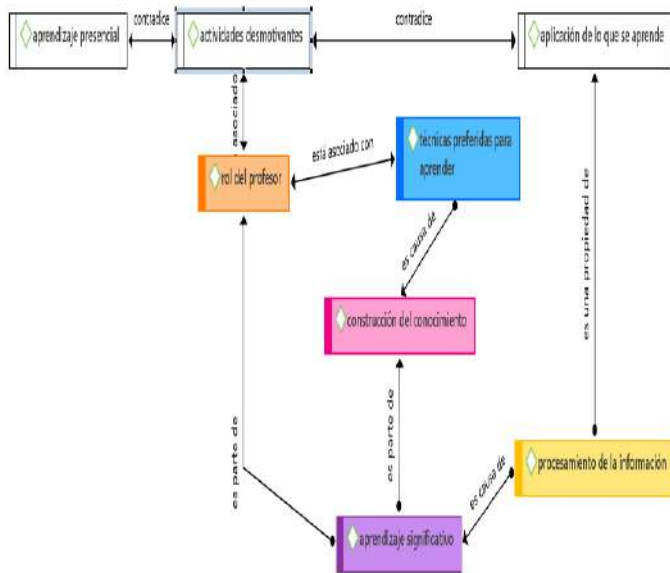


Figura 1. Red Semántica Estrategias de Aprendizaje. Fuente: Elaboración propia a partir del programa ATLAS.ti.

Eso muestra que, además de la necesidad de ver ejemplos reales, consideran crucial el rol del profesor para el entendimiento de los contenidos. Asimismo, consideran que en ocasiones tienen que llevar a cabo actividades que les son desmotivantes. Los estudiantes expresan tener una actitud favorable ante el estudio, algunos de ellos comentan haber desarrollado habilidades de autoaprendizaje y búsqueda de información. También expresan que esa actitud en parte depende de la naturaleza de la materia y del proceso de enseñanza del profesor.

Del mismo modo, se encuentra una relación entre la modalidad de aprendizaje y su actitud hacia el estudio cuando mencionan: “Como no es de manera presencial tienes que poner más atención” (participante 4, comunicación personal, 2021). Por lo que se identifica la importancia de que el profesor lleve a cabo actividades que incorporen ejemplos y actividades aplicados a la vida real.

De igual forma, los estudiantes comentaron no estar dispuestos cuando se trata de tareas repetitivas, ya que suelen perder la atención con facilidad: “La debilidad que tengo es que me da mucha pereza a veces hacer las cosas si siento que es un proceso muy repetitivo o muy tedioso que se realiza con mucha facilidad, contrario a los procedimientos que llevan más enfoque, esos se me facilitan realizarlos” (participante 3, comunicación personal, 2021).

Respecto a las técnicas de concentración y atención, sus respuestas se orientaron más al espacio físico externo. Por esa razón, la opinión general se describe en términos de la eliminación de estresores ambientales, lo cual se puede apreciar en la Figura 2.

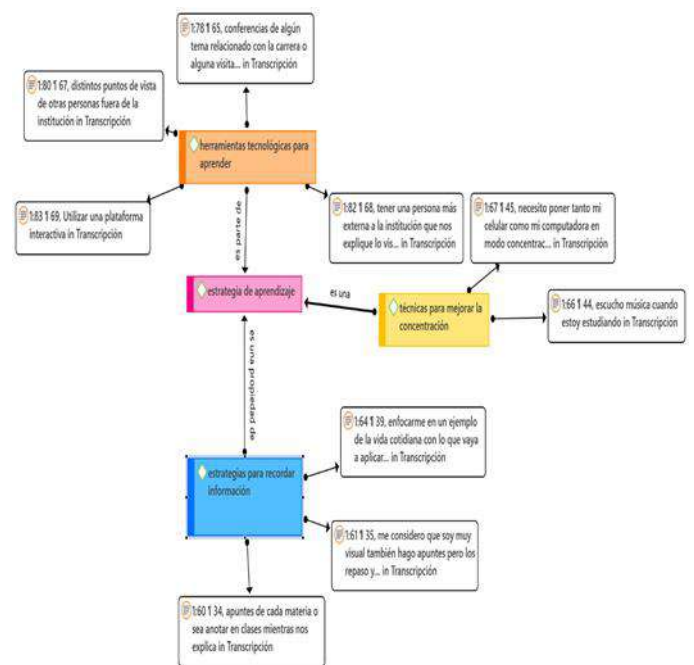


Figura 2. Red semántica de técnicas y estrategias de aprendizaje asociados con herramientas tecnológicas para aprender. Fuente: Elaboración propia a partir del programa ATLAS.ti

En la Figura 2, la red semántica nos muestra que, entre las estrategias de aprendizaje implementadas por los y las estudiantes, se encuentran la de hacer apuntes y simplificar conceptos, a través de ejemplos de la vida diaria. También se encuentra la creación de esquemas visuales y formularios, los cuáles les son útiles para recordar una información “Enfocarme en un ejemplo de la vida cotidiana con lo que vaya a aplicar si es dentro de la carrera o es de introducción” (participante 6, comunicación personal, 2021).

Un elemento asociado con las estrategias para aprender son las herramientas tecnológicas que utilizan para el aprendizaje. Las herramientas que les gustaría incorporar son variadas, entre ellas expresan las reuniones virtuales con expertos en el tema, las videoconferencias y el uso de herramientas interactivas para el aprendizaje. Esto se identifica con expresiones como: “*Generar reuniones de expertos que conocen del tema para no sólo quedarnos con lo que nos dan los profes o con lo que nosotros sabemos*” (participante 2, comunicación personal, 2021) y “*Tener otra referencia de cómo es lo que estamos viendo*” (participante 4, comunicación personal, 2021).

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización de este documento.

Discusión y conclusiones

El objetivo principal de este estudio fue identificar las estrategias de aprendizaje y de procesamiento estratégico de la información de las y los estudiantes de una Institución de Educación Superior Tecnológica.

Después de aplicar la técnica de grupo de discusión, los estudiantes expresaron tener una actitud positiva frente al estudio y haber creado estrategias de autoaprendizaje a partir del cambio de modalidad de

presencial a en línea. Consideran que el apoyo entre compañeros y la resolución de dudas por parte del docente son importantes para tener un buen entendimiento de los temas. Las estrategias que utilizan para recordar información, tales como apuntes, diagramas, guías y ejemplos son elementos para ser incluidos dentro del plan de intervención. En cuanto a herramientas tecnológicas para aprender, sugieren las conferencias virtuales, reuniones con expertos y herramientas interactivas.

La actuación académica estratégica requiere de un plan que responda al contexto educativo y que se adecúe a las características de sus participantes. Incorporar un entorno que propicie las competencias profesionales ajustadas a las necesidades y formas de aprender de los estudiantes puede tener efectos en la mejora de rendimiento académico (Gargallo López et al., 2011), así como en el aumento de la motivación del estudiante. Por lo tanto, un paso inicial al crear entornos híbridos de aprendizaje es la incorporación de estrategias didácticas orientadas a las formas en como que los estudiantes aprenden. De esta manera, se puede reducir la brecha entre lo que el educador considera efectivo y lo que al estudiante le resulta eficaz para mejorar su proceso de aprendizaje.

Referencias

- Ausubel, D., Novak, J., y Hanesian, H. (1983). *Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Castellano, S., Martín, M.A., Cuesta, M. y García, E. (2011). Cuestionario de Evaluación del Procesamiento Estratégico de la Información para Universitarios (CPEI-U). *Revista Electrónica de Metodología Aplicada*. 2(16), pp. 15-28. [researchgate.net/publication/260369313_Cuestionario_de_evaluacion_del_procesamiento_estrategico_de_la_informacion_para_universitarios_CPEI-U](https://www.researchgate.net/publication/260369313_Cuestionario_de_evaluacion_del_procesamiento_estrategico_de_la_informacion_para_universitarios_CPEI-U)
- Dirección General de Educación Superior Tecnológica. (2012). *Modelo Educativo para el siglo XXI* [archivo PDF]. Recuperado de: <http://www.dgest.gob.mx/modeloeducativo/modeloeducativo.pdf>
- Educause Horizon Report (21 de octubre de 2021). *2021 Educause Horizon Report Teaching and Learning Edition 2021* [archivo PDF]. Recuperado de: <https://library.educause.edu/resources/2021/4/2021-educause-horizon-report-teaching-and-learning-edition>

- Gargallo, B., Suárez-Rodríguez, J. M. y Pérez-Pérez, C. (2009). El cuestionario CEVEAPEU. Un instrumento para la evaluación de las estrategias de aprendizaje de los estudiantes universitarios. *RELIEVE*, 15(2), pp. 1-31. Recuperado de: http://www.uv.es/RELIEVE/v15n2/RELIEVEv15n2_5.htm
- Gil, J. (1993). La metodología de investigación mediante grupos de discusión. Enseñanza y Teaching. *Revista interuniversitaria de didáctica* 10(11), pp. 199-214.
- Gutiérrez, B. (2011). Focus group: ¿Prolongación, variación o ruptura con el focus group?, *Cinta Moebio*, (41), pp. 105-122.
- Pozo, J. (1999). *El Sistema del aprendizaje, en Aprendices y maestros*. Madrid: Alianza.
- Piaget, J. (1973). *Psicología y Pedagogía*. Barcelona: Ariel.
- Martín del Buey, F., Camarero, F., Sáez, C. y Martín, E. (2000). *Procesamiento Estratégico de la Información*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
- Sandín Esteban, M. P. (2003). *Investigación Cualitativa en Educación. Fundamentos y Tradiciones*. Mc Graw and Hill Interamericana.
- Schunk, D.H. y Zimmerman, B.J. (Eds.). (2012) *Self-regulated Learning and Academic Achievement: theoretical perspectives*. Routledge.
- Vygotsky, L.S., (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner y E. Souberman, Cambridge, MA.
- Zapata-Ros, M. (2015). Teorías y modelos sobre el aprendizaje en entornos conectados y ubicuos. *EKS*, 16(1), pp. 69-102. DOI: <http://dx.dpi.org.10.14201/eks201516169102>

Quercetina y su fermentado en HT-29 sometidas a BPA

Nataly García-Gutiérrez¹, Haydé Azeneth Vergara-Castañeda¹

¹ Departamento de Investigación Biomédica. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

Correspondencia: nat_gagu5487@hotmail.com , hayde.vergara@uaq.mx

Resumen

El bisfenol A (BPA) es un componente de los empaques destinados a la industria alimentaria. Es considerado un disruptor endócrino por promover la progresión de estadios de cáncer colónico debido al daño en el material genético. Por otro lado, la quercetina (Q) es un flavonoide anticancerígeno que regula vías de señalización proapoptóticas; por lo que su presencia podría mitigar el daño causado por el BPA al evitar la progresión del cáncer de colon. El objetivo fue evaluar el efecto de la quercetina y su extracto fermentado (FQ) sobre células transformadas de colon humano tratadas con BPA. La viabilidad celular (VC) se midió por MTT para determinar la concentración inhibitoria media (IC₅₀) bajo tratamiento con Q y FQ en células HT-29 y en coexposición con BPA. Los tratamientos usados fueron: Q, BPA (4.4µM, concentración tolerable permitida), Q+BPA, FQ y FQ+BPA. Se evaluó necrosis por LDH, ciclo celular por citometría de flujo y se evaluó la expresión de genes de la vía de señalización de p53 mediante RT qPCR. La IC₅₀ de Q y FQ fue de 160.63µM y 15.98 %, respectivamente. Estas concentraciones reducen la VC también en células expuestas a BPA. Q y Q+BPA indujeron arresto del ciclo celular en la fase G0/G1 y FQ y FQ+BPA en la fase S. BPA redujo la VC en un 10 % por necrosis. Q, Q+BPA, FQ, FQ+BPA regularon positivamente genes involucrados con apoptosis e inhibición del ciclo celular y negativamente genes antiapoptóticos. El efecto anticancerígeno de quercetina se sostiene incluso en presencia del disruptor BPA en células HT-29.

Palabras clave: *Bisfenol a, cáncer de colon, disruptor endócrino, fitoquímico.*

Abstract

Bisphenol A (BPA) is a component of packaging destined for the food industry. It is considered an endocrine disruptor for promoting the progression of stages of colon cancer due to damaged genetic material. On the other hand, quercetin (Q) is an anticancer flavonoid that regulates pro-apoptotic signaling pathways; so its presence could mitigate the damage caused by BPA, preventing the progression of colon cancer. The objective was to evaluate the effect of quercetin and its fermented extract (FQ) on transformed human colon cells treated with BPA. Cell viability (CV) was measured by MTT to determine the mean inhibitory concentration (IC₅₀) under treatment with Q and FQ in HT-29 cells and in co-exposure with BPA. Treatments: Q, BPA (4.4µM, tolerable concentration allowed), Q + BPA, FQ and FQ + BPA. Necrosis by LDH, cell cycle was evaluated by flow cytometry and the expression of genes of the p53 signaling pathway was evaluated by RT qPCR. The IC₅₀ for Q and FQ was 160.63µM and 15.98 %, respectively. These concentrations reduce CV also in cells exposed to BPA. Q and Q + BPA induced cell cycle arrest in the G0 / G1 phase and FQ and FQ + BPA in the S phase. BPA reduced VC by 10 % due to necrosis. Q, Q + BPA, FQ, FQ + BPA positively regulated genes involved with apoptosis and cell cycle inhibition and negatively antiapoptotic genes. The anticancer effect of quercetin is sustained even in the presence of the BPA disruptor in HT-29 cells.

Keywords: *Bisphenol a, colon cancer, endocrine disruptor, phytochemical.*

Introducción

El término disruptor endócrino se aplica a un grupo de moléculas exógenas que interfieren en la síntesis de las hormonas, su metabolismo y función, tanto en humanos como en animales (Monneret, 2017). Los hay de origen sintético y natural. A este último se le denomina fitoestrógeno y está representado por los flavonoides. Éstos son compuestos no esteroideos cuya producción es el resultado del metabolismo secundario de las plantas que forman parte de la dieta del ser humano. Los flavonoides se sintetizan en las plantas mediante la vía metabólica acetato-malonato o fenilpropanoide, de la cual su estructura general resultante es C6-C3-C6 con función fenilbenzopirano (Dias et al., 2021). Los alimentos en los que podemos encontrar a los flavonoides son en frutas y verduras, el té, la cocoa, el vino, entre otros (Nikolić et al., 2017).

La función de los fitoestrógenos dentro de las plantas no es hormonal, sino que actúan como defensa frente al estrés, radiación UV y a microorganismos debido a su actividad antifúngica, antibacteriana, antiviral y antioxidante (Petroski & Minich, 2020). El ingreso de los fitoestrógenos es mediante la dieta consumida por el humano y es en el cuerpo donde van a ejercer los metabolitos su efecto biológico estrogénico. Cuando los alimentos son consumidos por las personas, los fitoestrógenos son incorporados tanto en su forma agliconada o glucosilada. La absorción de los flavonoides por el intestino delgado varía de un 0 a 60 %, dependiendo de la estructura del flavonoide en cuestión, de su unión con azúcares y del consumo total de flavonoides en la dieta, el cual varía considerablemente entre países (Cassidy & Minihane, 2017). Tras la absorción del compuesto, éste experimenta metabolización por las enzimas de fase I y II presentes principalmente en hígado. Posteriormente, su estructura modificada es fácilmente eliminada por la orina con una vida media de dos a ocho horas. Sin embargo, los fitoestrógenos no metabolizados pueden alcanzar diferentes tejidos, donde son capaces de desencadenar respuestas biológicas, incluyendo aquellas en las que participan las hormonas.

Por otro lado, también se han sintetizado industrialmente disruptores como el bisfenol a (BPA), el cual se obtiene a partir de la condensación de dos moléculas de fenol con una molécula de acetona en presencia de ácido clorhídrico. El BPA se ha convertido en un componente clave en la fabricación de muchos materiales incluyendo botellas de plástico reusables, biberones, bebidas enlatadas (Basak et al., 2020). Sin embargo, debido a que el BPA es capaz de desprenderse de los materiales bajo condiciones de temperatura y pH, puede migrar a los alimentos. Como consecuencia, los consumidores incorporan este químico a su cuerpo encontrándose presente en la piel, saliva y sangre (Jalal et al., 2017).

Desde hace varios años se ha investigado el efecto de los disruptores estrogénicos en diversos modelos biológicos en un contexto fisiológico y patológico. A pesar de que el tejido colónico no ha sido estudiado a fondo en relación con los xenoestrógenos, estudios demuestran que los disruptores endócrinos exógenos podrían activar o inhibir señales intracelulares esenciales para la protección contra enfermedades como el cáncer de colon o bien promover su aparición. En la mucosa del tejido colónico sano el receptor estrogénico alfa ($ER\alpha$) se expresa mínimamente a diferencia del receptor estrogénico beta ($ER\beta$) (Honma et al., 2022). Durante el desarrollo del cáncer de colon, la expresión de los subtipos 1 y 2 del $ER\beta$ se ha observado disminuido, lo que lo ha señalado como un buen candidato para ser utilizado como blanco de diversas terapias contra el cáncer. La actividad estrogénica de los fitoestrógenos se debe a la similitud estructural con el 17- β -estradiol y su afinidad por los receptores estrogénicos α y β ($ER\alpha$ y $ER\beta$, respectivamente). Esta afinidad con actividad agonista o antagonista, dependiente de la estructura y de la concentración del compuesto, ha sido observada débilmente en comparación al estradiol. Además, se ha determinado que algunos compuestos muestran una afinidad selectiva entre el $ER\alpha$ y el $ER\beta$ (Rietjens et al., 2017). Los fitoestrógenos son capaces de interactuar con los $ER\alpha$ y $ER\beta$ imitando la acción del estradiol e induciendo la muerte celular apoptótica. Tal es el caso de la quercetina, la cual es capaz de

inducir la muerte por apoptosis en células de cáncer de colon CT-26, por modulación positiva de proteínas p63 y p73 y la vía PI3K/Akt/mTOR. Además, se ha observado en estudios *in vivo* que este fitoquímico es capaz de reducir el volumen tumoral colónico en comparación al grupo control (Hashemzaei et al., 2017).

En cuanto al BPA y su asociación con el cáncer de colon, los reportes indican que este agente en células de epitelio de colon normal NC460 a concentraciones micromolares promueve la migración de células por la estimulación de la expresión y actividad de MMP-9 mediada por RE β , sugiriendo posibles riesgos de desarrollo de cáncer (Shi et al., 2016). En células de cáncer de colon HT-29 se encontró que el BPA promovió significativamente la proliferación y migración celular, a través del aumento de la fosforilación de la quinasa regulada por señales extracelulares ERK. Asimismo, el BPA redujo la expresión de E-cadherina, un factor involucrado en la transición epitelial a mesenquimatoso (Jun et al., 2021). Mientras que en células SW480 este químico logró modular 56 proteínas involucradas en la proliferación celular y el estrés oxidativo, se observó un aumento en la migración celular e invasión, lo que ocasionó la transformación de las transiciones epiteliales a mesenquimales y el aumento de la expresión del factor de transcripción Snail, un marcador de progresión tumoral (Chen et al., 2015). A pesar de la importancia que pudiera tener el BPA en el colon, la información acerca de esta alteración no es suficiente y, por lo tanto, su mecanismo de acción hasta el momento no es totalmente claro. En vista de su uso vigente, se han buscado moléculas principalmente de origen vegetal como los polifenoles que ayuden a reducir su efecto tóxico. Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la quercetina y su extracto fermentado en células de cáncer de colon expuestas a BPA.

Metodología

Fermentación gastrointestinal *in vitro*

Esta técnica utilizada de acuerdo con lo descrito por Campos-Vega y colaboradores (2009), es un método de fermentación de la microbiota intestinal humana

para estimar los efectos de la digestión de la quercetina en el colon que representa un modelo de intestino grueso simulado. Se utilizó como fuente bacteriana un inóculo fecal humano obtenido de voluntarios sanos normo peso, sin antecedentes de enfermedades gastrointestinales sin haber consumido antibióticos tres meses previos a la toma de la muestra. Brevemente, las fermentaciones se realizaron por duplicado en un baño de agua a 37° C. Se utilizó rafinosa como control para el azúcar fermentable en las mismas condiciones. Se llenaron tubos estériles con 9 ml de medio de cultivo basal estéril. Se prepararon suspensiones fecales homogeneizando 2 g de heces frescas con 18 ml de tampón fosfato de sodio 0.1 M, pH 7. Los tubos que contenían la mezcla de medio de cultivo basal se inocularon con 1 ml de suspensiones fecales, y 1 gramo de quercetina previamente sometida a digestión gastrointestinal, excepto a los blancos. Las muestras se agitaron con vórtex durante 30 segundos y se colocaron en un baño de agua a 37 °C. Al final de cada tiempo de fermentación, se evaluó el pH de la muestra (6, 12 y 24 h). La fermentación se detuvo colocando los tubos en un congelador a -70 °C.

Viabilidad celular y determinación de la IC₅₀

La viabilidad de la línea celular de cáncer de colon HT-29, obtenida de la ATCC, fue evaluada mediante el ensayo colorimétrico de MTT. Se sembraron 5×10^3 células por pozo en microplaca estéril de 96 pozos en medio de cultivo adicionado con suero fetal bovino (FBS) al 10 %. A las 24h de incubación el medio fue sustituido por diferentes concentraciones de quercetina (40-180 μ M) disueltos en medio con FBS al 2 %, también se incluyó control negativo de células sin tratamiento. Se colocó nuevamente a incubación por 48h. Después de la incubación, se retiró el medio y se adicionaron 200 μ l de solución MTT a cada pozo, incubándose nuevamente por 1 h a 37° C. Pasado el tiempo, se removió el sobrenadante y se añadieron 200 μ l de DMSO a cada pocillo, los cuales se dejaron a temperatura ambiente durante 10 minutos antes de la lectura a una longitud de onda de 540 nm en espectrofotómetro de ELIZA (Thermo scientific®, multiscan GO). El cálculo del porcentaje de viabilidad se obtuvo con la siguiente ecuación.

%viabilidad celular: $(DO_t/DO_c)*100$. DO_t : Densidad óptica promedio de los cultivos tratados. DO_c : Densidad óptica promedio del control negativo.

El porcentaje de viabilidad celular se graficó contra la concentración del tratamiento para encontrar la dosis inhibitoria media (IC_{50}). La concentración inhibitoria cincuenta (CI_{50}) se refirió a la concentración necesaria del tratamiento para inhibir la sobrevivencia del 50 % de la población celular sometida al tratamiento.

Tratamientos

La variabilidad celular, así como las siguientes determinaciones se realizaron bajo los siguientes tratamientos disueltos en medio con FBS al 2 %: Quercetina a la IC_{50} , extracto fermentado de quercetina a la IC_{50} , bisfenol a ($4.4\mu M$, concentración recomendada por la FDA), mezcla de quercetina o su extracto fermentado con bisfenol a; además se incluyó blanco de fermentación que corresponde a agua sometida bajo el mismo procedimiento que las muestras, control negativo (células sin tratamiento), control positivo (triton al 1 %).

Necrosis celular

La citotoxicidad de las células se evaluó mediante las indicaciones descritas en el kit de LDH (ROCHE®, 11644793001). Las células se sembraron en microplaca estéril de 96 pozos (5×10^3 células/pozo) en medio de cultivo adicionado con FBS al 10 %. 24 horas después, el medio se sustituyó por los tratamientos previamente mencionados, donde se incluyó un control positivo de tritón X-100 al 1 %. Después de 48 h de incubación se mezcló 50 μl de cada tratamiento con 100 μl del reactivo de LDH y se dejó por 15 minutos a temperatura ambiente. La absorbancia de las muestras se midió en espectrofotómetro a una longitud de onda de 492 nm. El cálculo de la actividad de lactato deshidrogenasa se obtuvo mediante la siguiente ecuación.

%Citotoxicidad: $(DO_t-DO_c)/(DO_p-DO_c)$. DO_t : Densidad óptica promedio de los cultivos tratados. DO_c : Densidad óptica promedio del control negativo. DO_p : Densidad óptica promedio del control positivo.

Cuantificación del DNA en las fases del ciclo celular por citometría de flujo

El contenido de DNA en las fases del ciclo celular se cuantificó siguiendo la metodología del kit Muse Cell Cycle Assay (Merck millipore®, MCH100101). Brevemente, las células se sembraron en placa de 6 pozos (1×10^6 células/pozo) en medio de cultivo adicionado con FBS al 10 %. A las 24 h de incubación, el medio fue sustituido por los tratamientos. Después de 48 h de incubación, la placa se lavó con 1 ml de PBS 1X. Las células adheridas a la caja se cosecharon con tripsina. Las células tripsinizadas se centrifugaron a 1800 rpm durante 5 minutos a $30^\circ C$. El sobrenadante se removió y la pastilla se lava dos veces con 2 ml de PBS 1X. Se centrifugó nuevamente a fin de remover el sobrenadante y la pastilla se resuspendió en 1 ml de etanol frío al 70 %. Se incubó por 3h a $-20^\circ C$. Pasado el tiempo, se centrifugó a 1800 rpm durante 5min a $-4^\circ C$. La pastilla se lavó una vez con 2 ml de PBS 1X. Finalmente, se resuspendió la pastilla en 20 μl del reactivo incubándose por 30 minutos. La lectura en el citómetro de flujo fue de 1×10^5 células (Muse Cell Analyzer). Los resultados se expresaron en porcentaje de DNA/100 de células en las cuatro fases del ciclo celular (G0, G1, S, G2).

Evaluación de la expresión de genes de la vía de p53 mediante RT qPCR

Se determinó la expresión de genes por medio del arreglo Human p53 Signaling Pathway (330231 PAHS-027ZA) mediante el uso de las condiciones mencionadas en el inserto. Pero primero se extrajo el RNA total de las células bajo tratamiento empleando membranas de silica-gel de la marca Jena Bioscience GmbH (Jena, Germany, PP-210S) y, posteriormente, se realizó la síntesis de cDNA, mediante el kit Script cDNA de la marca Jena Bioscience GmbH (Jena, Germany, PCR-511S). Los resultados fueron analizados en geneglobe.qiagen.com. Los resultados son considerados como secuencias potencialmente moduladas si el cambio entre las muestras provenientes de las células sometidas a tratamiento y las no tratadas fue mayor de dos veces (inducción o inhibición).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el software JMP. Se realizó un análisis estadístico siguiendo ANOVA y Tukey-Kramer cuando se identificaron diferencias significativas entre los grupos o Dunnett, cuando se compararon contra el control negativo o BPA.

Resultados

Los resultados de viabilidad de la línea celular de cáncer de colon humano HT-29 sometidas a quercetina y su extracto fermentado se muestran en las figuras 1 y 2. El ensayo de MTT reveló que el porcentaje de viabilidad celular disminuyó al incrementar la concentración de quercetina y su extracto fermentado. La IC₅₀ de las células bajo tratamiento con quercetina y su extracto fermentado fue de 160.63 μ M y 15.98 %, respectivamente.

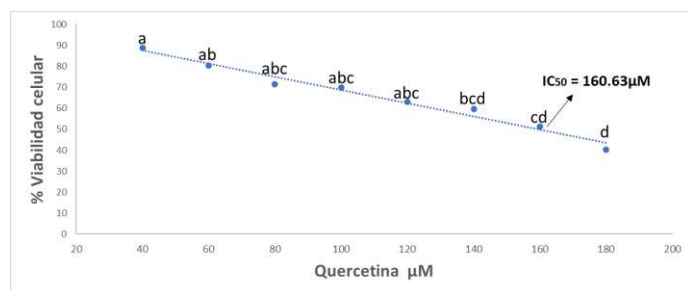


Figura 1. Curva dosis-respuesta de la quercetina en células de cáncer de colon humano HT-29, después de 48 h de tratamiento. Cada valor representa el promedio de tres experimentos independientes por triplicado \pm ES. Letras diferentes expresan diferencia significativa ($P < 0.05$), prueba de Tukey. Las células tratadas se normalizaron con el control negativo (células no tratadas). La concentración inhibitoria media o IC₅₀ se refiere a la concentración necesaria del tratamiento para inhibir la sobrevivencia del 50 % de la población celular sometida al tratamiento. Fuente: elaboración propia.

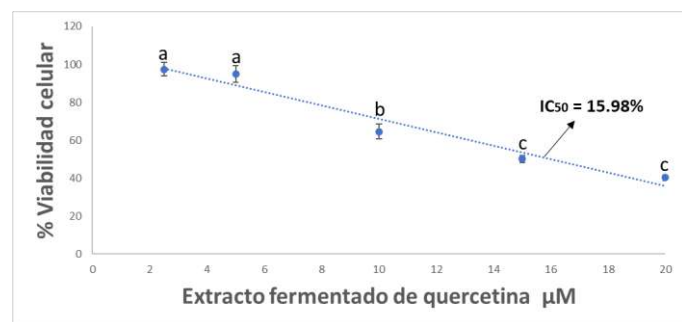


Figura 2. Curva dosis-respuesta del extracto de fermentación de quercetina en células de cáncer de colon humano HT-29, después de 48 h de tratamiento. Cada valor representa el promedio de tres experimentos independientes por triplicado \pm ES. Letras diferentes expresan diferencia significativa ($P < 0.05$), prueba de Tukey. Las células tratadas se normalizaron con el control negativo (células no tratadas). La concentración inhibitoria media o IC₅₀ se refiere a la concentración necesaria del tratamiento para inhibir la sobrevivencia del 50 % de la población celular sometida al tratamiento. Fuente: elaboración propia.

La coexposición de quercetina o su extracto fermentado con BPA que se muestra en la Figura 3, dio como resultado un porcentaje de viabilidad de entre 50 a 60 %. Los resultados indican que el efecto anticancerígeno de la quercetina predomina sobre los efectos moleculares inducidos por BPA, debido a que el BPA por sí solo no redujo de manera importante la viabilidad.

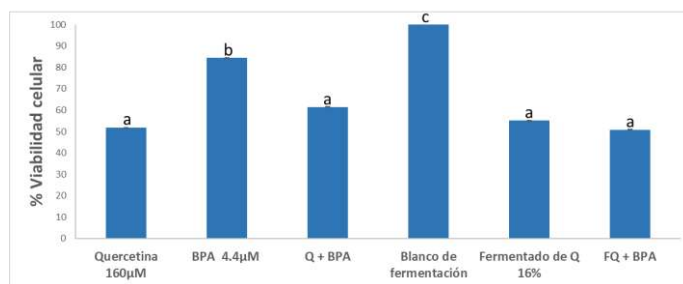


Figura 3. Efecto de la coexposición de quercetina o su extracto fermentado en células de cáncer de colon HT-29, tratadas con bisfenol A. Cada valor representa el promedio de tres experimentos independientes por triplicado \pm ES, de las células tratadas con quercetina o su extracto fermentado después de 48 horas. Letras diferentes por renglón expresan diferencia significativa ($P < 0.05$), prueba de Tukey. El blanco corresponde a agua sometida bajo el mismo procedimiento que las muestras. Las células tratadas se normalizaron con el control negativo (células no tratadas). Fuente: elaboración propia.

El contenido de ADN de las células tratadas con quercetina sola y en combinación con el BPA se muestra aumentado significativamente en la fase G₀/G₁ (Figura 4) en comparación a los demás grupos. Mientras que las células sometidas a tratamiento con el extracto fermentado de la quercetina se observan acumuladas en la fase S. Por otro lado, debido a que el tratamiento con BPA no muestra ninguna diferencia significativa en comparación al control negativo, se sugiere que la quercetina y su extracto fermentado

promueven la acumulación de las células con ADN fragmentado (fase G₀/G₁ o S). Este ensayo demuestra que la quercetina y su extracto fermentado causan arresto al ciclo celular individualmente y en coexposición con el BPA.

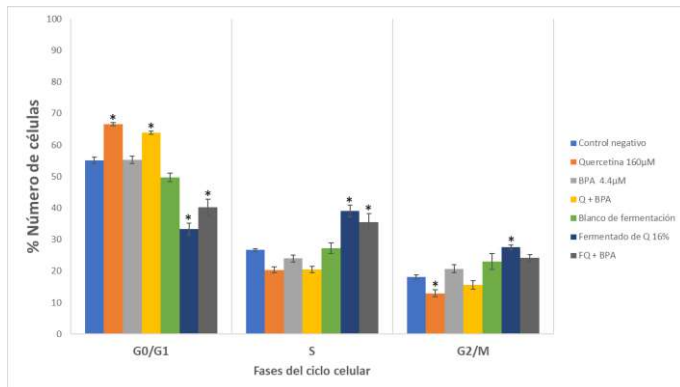


Figura 4. Número de células en las fases de ciclo en células HT-29 tratadas con quercetina y su extracto fermentado en coexposición con el bisfenol A. Cada valor representa tres experimentos independientes por duplicado \pm ES, expresados como porcentaje de DNA/ 500 000 células. El blanco corresponde a agua sometida bajo el mismo procedimiento que las muestras. Los signos expresan diferencia significativa comparándolos tratamientos contra el grupo BPA ($P < 0.05$), prueba de Dunnett. G₀: fase de reposo, G₁: 1ra fase de crecimiento, S: fase de síntesis de DNA, G₂: 2da. fase de crecimiento, M: fase de mitosis. Fuente: elaboración propia.

De los tipos de muerte celular que se conocen, la necrosis es un mecanismo de muerte por el cual la célula se lisa vertiendo su contenido al espacio extracelular en respuesta de un daño intenso o prolongado. El efecto inductor de necrosis de los tratamientos con quercetina y BPA se observó de aproximadamente el 20 % (Figura 5). Por su parte, las células bajo tratamiento con el extracto fermentado de quercetina y su coexposición con BPA mueren por necrosis en aproximadamente un 20 %. Este resultado podría estar contribuyendo a la disminución en la viabilidad celular total de dicha línea celular junto con la inducción de otros tipos de muerte. El porcentaje de citotoxicidad en el control positivo se vio aumentado debido al daño letal que muestra el tritón al 1 % sobre las células HT-29. En cuanto al resultado con BPA, el porcentaje de muerte por necrosis corresponde al valor de inhibición de viabilidad de la Figura 3, por lo cual el porcentaje de muerte celular podría atribuirse a la muerte por citotoxicidad.

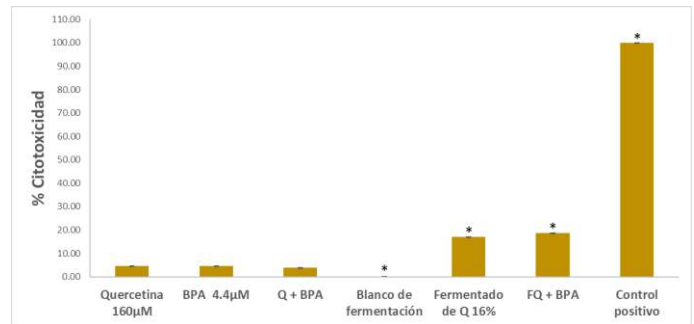


Figura 5. Efecto citotóxico de la quercetina y su fermentado en células de cáncer de colon HT-29, tratadas con bisfenol A. Cada valor representa el promedio de tres experimentos independientes por triplicado \pm ES. Los signos expresan diferencia significativa ($P < 0.05$) comparándolos tratamientos con el grupo BPA, prueba de Dunnett. El blanco corresponde a agua sometida bajo el mismo procedimiento que las muestras. Las células tratadas se normalizaron con el control negativo (células no tratadas). Fuente: elaboración propia.

La regulación de la expresión de genes de la vía de señalización de p53 se muestra en la Tabla 1. El tratamiento con quercetina moduló negativamente los genes BIRC5 y MCL1 que realizan procesos antiapoptóticos, los genes CDC25A, CDK1 y CDKN2A, involucrados en la regulación del ciclo celular. Mientras que moduló positivamente el gen proapoptótico KAS y MYC que es un gen inhibidor del ciclo celular. Por su parte, el tratamiento con BPA moduló negativamente los genes BRCA1 y GADD45A, inhibidores del ciclo celular. La coexposición de quercetina y BPA, así como su extracto fermentado regularon positivamente los genes KRAS; mientras que este último tratamiento reguló positivamente al gen TNF promotor de la apoptosis. Finalmente, el extracto fermentado de la quercetina en coexposición con el BPA moduló negativamente a E2F3, un gen con funciones de inhibición del ciclo celular, así como también reguló positivamente a los genes FASL, TP53AIP1 y TP63 con funciones proapoptóticas, GML y MYOD1 inhibidores del ciclo celular, WT1 supresor de tumores, KRAS, TNF.

Quercetina 160µM	BPA 4.41µM	Q + BPA	Fermentado de Q 16%	FQ + BPA
BIRC5 -6.40	BRCA1 -2.67	KRAS 88.50	KRAS 70.48	E2F3 -2.15
CDC25A -2.06	GADD45A -14.67		TNF 7.80	FASLG 5.00
CDK1 -6.22				GML 5.00
CDKN2A -9.67				KRAS 75.71
MCL1 -2.11				MYOD1 5.00
KRAS 40.23				TNF 5.00
MYC 2.06				TP53AIP1 5.00
				TP63 5.00
				WT1 5.00

Tabla 1. Expresión de genes de células HT-29 bajo tratamiento, regulación negativa o positiva >2 *fold* con respecto a las células control negativo empleando β -Actina, GAPDH, β -2-microglobulina como housekeeping. Fuente: elaboración propia.

Discusión y conclusiones

La disminución de la viabilidad celular dependiente del aumento de la concentración del tratamiento con quercetina podría ser debido en parte a su capacidad antioxidante al ser capaz de donar protones y electrones y disminuir el estrés oxidativo propio de células cancerosas (Figura 1). Además, se ha observado que este fitoquímico modula genes que promueven la muerte celular apoptótica (Khorsandi et al., 2017). La IC₅₀ determinada en este estudio es similar a lo reportado por Yang y sus colaboradores (2016).

Por otra parte, el efecto inhibitorio celular del extracto de la fermentación de la quercetina podría deberse a la presencia tanto de quercetina pura como de sus metabolitos producidos por reacciones entre las bacterias colónicas y la quercetina (Figura 2). Los metabolitos resultantes dependen del flavonoide estudiado, en el caso de la quercetina se ha observado que uno de los metabolitos producidos principalmente por la microbiota colónica es el DOPAC (Shabbir et al., 2021), el cual se ha visto tener efecto en células de cáncer de colon.

Hasta el momento no hay evidencia de la coexposición de la quercetina o su extracto fermentado con BPA en tejido colónico. Un grupo de investigadores observaron que en células de cáncer de ovario el porcentaje de viabilidad tras la coexposición del BPA con el flavonoide genisteína disminuyó drásticamente, debido al efecto antiproliferativo de la genisteína.

Parte del mecanismo que podría estar implicado en la disminución de la viabilidad celular por parte de la quercetina es el arresto al ciclo celular (Jaiswal et al., 2018). Comparando los resultados obtenidos, en un estudio realizado por Yang y colaboradores (2016), encontraron que la quercetina a concentración entre 100 y 200 µM durante 48 h de incubación en células HT-29 aumentó el contenido de ADN en la fase G₀/G₁ del ciclo celular en comparación al control negativo. Así, la quercetina en esas concentraciones muestra un efecto inhibitorio de la proliferación en células HT-29 mediante la detención en la fase G₀/G₁ (Figura 3). Asimismo, en ese mismo estudio determinaron que bajo esa misma concentración, la quercetina promueve la muerte celular por apoptosis, proceso que aún debe confirmarse.

En cuanto al extracto fermentado de la quercetina y su coexposición con el BPA sobre las células cancerosas no hay evidencia hasta el momento que sustenten los posibles mecanismos de acción que conlleven al arresto del ciclo celular en la fase S. Por otro lado, la muerte celular por necrosis de las células sometidas a los tratamientos con quercetina y su coexposición con el BPA se ha visto dependiente de la concentración y del tiempo de exposición (Figura 4). En una investigación utilizando una concentración de 100 µM de quercetina en células de cáncer ovárico, se observa un porcentaje de muerte similar por citotoxicidad (Shafabakhsh & Asemi, 2019). Finalmente, los procesos anteriormente estudiados podrían ser el resultado de la modulación de genes que promuevan el arresto al ciclo celular y apoptosis por tratamiento con quercetina y su extracto fermentado y su coexposición con BPA. O, por otra parte, observarse progresión del ciclo celular y mecanismos antiapoptóticos bajo tratamiento con BPA.

Estudios han demostrado que la quercetina es un inhibidor de varias proteínas cinasas importantes para la progresión del ciclo celular, debido a la presencia de grupos hidroxilo que hay en su molécula. Aunado a esto también se ha observado que éste flavonoide regula la actividad de genes y proteínas antiapoptóticas de la familia de Bcl-2 y proapoptóticas como Bax (Shafabakhsh & Asemi, 2019). En un estudio realizado por Özsoy y colaboradores (2020) encontraron que el uso de la quercetina provoca disminución de la viabilidad celular mediante la muerte apoptótica de células con estadios temprano y avanzado de la carcinogénesis, Colo-320 y Colo-421, respectivamente.

En la presente investigación, la quercetina podría estar disminuyendo la viabilidad celular observada en este estudio, por medio de la regulación a la baja de MYC y KRAS, los cuales se muestran alterados en la línea celular HT29 y, por tanto, le confieren a la célula mayor capacidad proliferativa. Esta expresión negativa de KRAS inclusive se mantuvo con el tratamiento de Quercetina y BPA. Por otro lado, el BPA tuvo el efecto contrario a la quercetina, debido a que promovió el aumento de la expresión de BRCA1, el cual es un gen supresor de tumores que tras su alteración podría acelerar la proliferación celular. Sin embargo, el BPA a la concentración de 4.4µM no promovió el aumento de la viabilidad celular en este estudio por lo que es necesario realizar ensayos de proliferación celular. En cuanto al extracto fermentado de la quercetina y su coexposición con BPA, éstos regularon el gen KRAS y TNF posiblemente por la presencia tanto de la quercetina como de sus metabolitos aún no evaluados. Al no observarse en la quercetina pura la regulación de los genes que inhiben el ciclo celular como GML y MYOD1 o que promuevan la apoptosis como FASLG, TP53AIP1, TP63, se sugiere que posiblemente los metabolitos de la quercetina y ésta misma, dentro del extracto, podrían estar actuando sinérgica o antagónicamente para activar vías de señalización que promuevan tanto el arresto al ciclo celular observado en este estudio, así como apoptosis que será evaluada posteriormente.

Se concluye que el efecto anticancerígeno de quercetina y extracto fermentado, medido por los procesos viabilidad celular, necrosis, arresto al ciclo celular, se sostiene incluso en presencia del BPA en células HT-29. Además, la quercetina y su extracto fermentado podría estar modulando diferentes genes involucrados en vías de señalización que desencadenen procesos como el arresto al ciclo celular y posterior muerte en su mayoría apoptótica. Estos resultados permiten continuar con estudios moleculares para así poder esclarecer los mecanismos protectores de este fitoquímico y su extracto fermentado en células de cáncer de colon sometidas a BPA.

Referencias

- Basak, S., Das, M. K., & Duttaroy, A. K. (2020). *Plastics derived endocrine-disrupting compounds and their effects on early development. Birth Defects Research.* 112(17): pp. 1308-1325. DOI:10.1002/bdr2.1741.
- Cassidy, A., Minihane, & A.M. (2017). The role of metabolism (and the microbiome) in defining the clinical efficacy of dietary flavonoids. *Am J Clin Nutr.* 105(1): pp. 10-22. DOI: 10.3945/ajcn.116.136051.
- Chen, Z.-J., Yang, X.-L., Liu, H., Wei, W., Zhang, K.-S., Huang, H.-B., Giesy, J. P., Liu, H.-L., Du, J., & Wang, H.-S. (2015). Bisphenol A modulates colorectal cancer protein profile and promotes the metastasis via induction of epithelial to mesenchymal transitions. *Archives of Toxicology.* 89(8): pp. 1371-1381. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-014-1301-z>.
- Días, M.C., Pinto, D.C.G.A., Silva, & A.M.S. (2021). Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity. *Molecules.* 26(17): pp. 5377. DOI: 10.3390/molecules26175377.
- Jaiswal, N., Akhtar, J., Singh, S., & Ahsan, F. (2018). *An Overview on Genistein and its Various Formulations. Drug Res.* 69(6): pp. 305-313. DOI: 10.1055/a-0797-3657.
- Hashemzaei, M., Delarami, Far A., Yari, A., Heravi, R.E., Tabrizian, K., Taghdisi, S.M., Sadegh, S.E., Tsarouhas, K., Kouretas, D., Tzanakakis, G., Nikitovic, D., Anisimov, N.Y., Spandidos, D.A., Tsatsakis, A.M., Rezaee, R. (2017). Anticancer and apoptosis-inducing effects of quercetin in vitro and in vivo. *Oncol Rep.* 38(2): pp. 819-828. DOI: 10.3892/or.2017.5766.

- Honma, N., Arai, T., Matsuda, Y., Fukunaga, Y., Akishima-Fukasawa, Y., Yamamoto, N., Kawachi, H., Ishikawa, Y., Takeuchi, K., & Mikami, T. (2022). Estrogen concentration and estrogen receptor- β expression in postmenopausal colon cancer considering patient/tumor background. *J Cancer Res Clin Oncol.* 148(5): pp. 1063-1071. doi: 10.1007/s00432-021-03889-9.
- Jalal, N., Surendranath, A.R., Pathak, J.L., Yu, S., & Chung, C.Y. (2017). Bisphenol A (BPA) the mighty and the mutagenic. *Toxicol Rep.* 16(5): pp. 76-84. doi: 10.1016/j.toxrep.2017.12.013.
- Jun, J.H., Oh, J.E., Shim, J.K., Kwak, Y.L., & Cho, J.S. (2021). Effects of bisphenol A on the proliferation, migration, and tumor growth of colon cancer cells: In vitro and in vivo evaluation with mechanistic insights related to ERK and 5-HT3. *Food Chem Toxicol.* 158: pp. 112662. doi: 10.1016/j.fct.2021.112662.
- Khorsandi, L., Orazizadeh, M., Niazvand, F., Abbaspour, M.R., Mansouri, E., & Khodadadi, A. (2017). Quercetin induces apoptosis and necroptosis in MCF-7 breast cancer cells. *Bratisl Lek Listy.* 118(2): pp. 123-128. doi: 10.4149/BLL_2017_025.
- Monneret, C. (2017). What is an endocrine disruptor? *C R Biol.* 340(9-10): pp. 403-405. doi: 10.1016/j.crv.2017.07.004.
- Nikolić, I., Savić-Gajić, I., Tačić, A., & Savić, I. (2017). Classification and biological activity of phytoestrogens: A review. *Advanced Technologies.* 6(2): pp. 96-106. doi: <https://doi.org/10.5937/savteh1702096N>
- Petroski, W., & Minich, D.M. (2020). Is There Such a Thing as "Anti-Nutrients"? A Narrative Review of Perceived Problematic Plant Compounds. *Nutrients.* 12(10): pp. 2929. doi: 10.3390/nu12102929.
- Rietjens, I.M.C.M., Louisse, J., & Beekmann, K. (2017). The potential health effects of dietary phytoestrogens. *Br J Pharmacol.* 174(11): pp. 1263-1280. doi: 10.1111/bph.13622.
- Shabbir, U., Rubab, M., Daliri, E.B., Chelliah, R., & Javed, A., Oh, D.H. (2021). Curcumin, Quercetin, Catechins and Metabolic Diseases: *The Role of Gut Microbiota.* *Nutrients.* 13(1): pp. 206. doi: 10.3390/nu13010206.
- Shafabakhsh, R., & Asemi, Z. (2019). Quercetin: a natural compound for ovarian cancer treatment. *J Ovarian Res.* 12(1): pp. 55. doi: 10.1186/s13048-019-0530-4.
- Shi, T., Zhao, C., Li, Z., Zhang, Q., & Jin, X. (2016). Bisphenol a exposure promotes the migration of NCM460 cells via estrogen receptor-mediated integrin β 1/MMP-9 pathway. *Environmental Toxicology.* 31(7): pp. 799-807. doi: <https://doi.org/10.1002/tox.22090>
- Özsoy, S., Becer, E., Kabadayı, H., Vatanserver, H.S., & Yücecan, S. (2020). Quercetin-Mediated Apoptosis and Cellular Senescence in Human Colon Cancer. *Anticancer Agents Med Chem.* 20(11): pp. 1387-1396. doi: 10.2174/1871520620666200408082026.
- Yang, L., Liu, Y., Wang, M., Qian, Y., Dong, X., Gu, H., Wang, H., Guo, S., & Hisamitsu, T. (2016). Quercetin-induced apoptosis of HT-29 colon cancer cells via inhibition of the Akt-CSN6-Myc signaling axis. *Molecular Medicine Reports.* 14(5): pp. 4559-4566. doi: <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.5818>

Los micromachismos encarnados en la cotidianidad universitaria

Karla Paola Díaz Guerrero
Asesor: Guillermo Hernández González
Facultad de Psicología Universidad Autónoma de Querétaro
Contacto: karlapaola.dg@hotmail.com

Resumen

En el marco de las denuncias en contra de la violencia de género contra las mujeres a nivel global dentro de las universidades, el presente estudio muestra un panorama de los micromachismos en la cotidianidad de las y los estudiantes de la zona bajío de México. Éstos son planteados por Bonino como expresiones de violencia por poco imperceptibles que se encuentran presentes en las relaciones interpersonales. A través de un estudio psicosocial conformado por un diagnóstico virtual y un dispositivo grupal de intervención que mezcla las técnicas del Biodrama (Urraco Crespo, 2016) y el Teatro del Oprimido (Boal, 2002), se contribuye a identificar las formas de expresión de dichas microviolencias, sensibilizar sobre sus efectos psicológicos y sociales y explorar posibles alternativas de convivencia a partir de la reflexión.

Palabras clave: micromachismos, Teatro del Oprimido, vida cotidiana universitaria, violencia de género

Abstract

Within the framework of the global denouncements in opposition to gender-based violence against women inside universities, the following work shows a comprehensive overview about the "micromachismos" inside the everyday life of the México students in the center zone of the country, these "micromachismos" understood by Luis Bonino as almost imperceptible violence expressions that can be found in interpersonal relationships. Through a psychosocial study comprising a virtual diagnosis and an intervention mechanism which combines techniques from Biodrama and Theatre of the Oppressed it contributes to the identification of micro-violence's forms of expression, to raise awareness of its social and psychological effects and explore possible alternative ways of interaction based on reflexion.

Key words: gender-based violence, "micromachismos", Theatre of the Oppressed, university's everyday life

Introducción

El concepto de género, entendido como una categoría —aquello que divide y clasifica—, ordena la estructura social en tanto que marca una diferencia entre lo que denominamos hombres y lo que denominamos mujeres; sin embargo, dicho orden resulta controversial quizá luego de que Simone de Beauvoir (1962) planteara que no se nace mujer, sino que se llega a serlo. Ésto llevó a múltiples autoras, a través del tiempo, a discutir el género, su origen clasificador y sus avasalladores efectos psicosociales.

De acuerdo con Marta Lamas (1995), el género es definido mediante la acción simbólica colectiva y sus procesos de constitución, es decir, es a través del orden simbólico que en una sociedad se fabrican las ideas de lo que *deben ser* las mujeres y los hombres, una lógica que deviene en valores e ideas construidas a partir de una oposición binaria tipificadora y excluyente. Pero la diferencia de los géneros, cuya naturaleza es de constructo social, se justificó en las diferencias biológicas (anatomofisiológicas) de los sexos por mucho tiempo. De modo que se convirtió en una verdad legitimada dada su biologización. No obstante, hoy diversos estudios han demostrado que la sexualidad es un fenómeno mucho más complejo atravesado por factores socioculturales y que, incluso el sexo biológico, no depende de un único órgano. Sin embargo, las concepciones anteriormente mencionadas fungieron como sustento para la formación de una supuesta superioridad práctica y teórica de lo considerado masculino sobre lo considerado femenino en el ámbito material, político, cultural, ideal y simbólico a través del tiempo.

Esta jerarquía desigual de poderes es lo que comprendemos como «machismo», sustentada a través de los cuerpos y que permea la cultura. Constituye así, en un primer momento, una violencia simbólica, la cual es definida por Bourdieu como aquella que se ejerce sobre un agente social con su complicidad o consentimiento

(Rivera-López, 2021), ya que impone significados. En el caso del machismo, su eficacia radica en que tanto hombres como mujeres comparten las mismas creencias impuestas. Es de esta manera que las categorías de clasificación aún nutridas del imaginario conllevan importantes implicaciones sociales (Lamas, 1995).

Lamas (1995), además sostiene que, una vez simbolizada, la diferencia sexual es asumida por el sujeto y produce significaciones con un poder político contundente en forma de concepciones sociales y culturales. Por ello, la perspectiva psicosocial permite cuestionar las significaciones naturalizadas en tanto que permite prestar atención al tejido dialéctico formado por las estructuras sociales y las subjetividades que en ella se encuentran de modo que se pueda considerar a las mujeres y a los hombres como el resultado de una producción propia de una realidad sociohistórica.

El machismo, entonces, definido por la autora Marina Castañeda (2020) como el:

Conjunto de creencias actitudes y conductas que descansa sobre ideas básicas: por un lado, la polarización de los sexos, es decir, una contraposición de lo masculino y lo femenino según la cual no son sólo diferentes sino mutuamente excluyentes; por otro, la superioridad de lo masculino en las áreas consideradas importantes por los hombres (p. 16).

Así, resulta el sustento ideológico para distintas formas de violencia —derivadas de la simbólica—, de la cual una gran parte es en contra de la mujer. Información respaldada por los datos estadísticos que, al menos a nivel nacional, presentan cifras altas durante los últimos tres años, ya que según el Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México al día son asesinadas 10 mujeres (García, 2021). Durante los primeros cinco meses del año 2021, los feminicidios aumentaron un 7,1 % y delitos clasificados como “otros” un 30 % en relación al año anterior; todo esto aún sin

mencionar que en México aproximadamente un 90 % de los delitos no son denunciados (Guillén, 2021).

Desafortunadamente, las agresiones físicas —de las cuales se lleva registro— no constituyen más que un pequeño porcentaje de las maneras en que la violencia puede presentarse dentro de la estructura social y nuestras relaciones. Galtung (2004) afirma que la violencia visible, como todo comportamiento humano, tiene sus raíces en la cultura y la sociedad, tal como se ha revisado.

Resulta, por lo tanto, esencial mencionar la importancia de la educación y sus formas, pues a través de ella existe la transmisión de valores, la construcción de los mismos y los espacios donde se lleva a cabo también son de socialización. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el porcentaje de mujeres violentadas en el ámbito escolar tan sólo en el estado de Querétaro en el 2011 conformaba un 3.4 %, lo cual representa un 3 % en el contexto nacional. De 21,480 mujeres, (consideradas a partir de los 15 años) que fueron violentadas dentro de sus estancia en la escuela, el 80.6 % fueron objetos de humillaciones, fueron degradadas o ignoradas y 36.4 % sufrieron agresiones físicas o sexuales, o bien, les fue propuesta alguna especie de recompensa a cambio de acceder a tener relaciones sexuales (Insituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013).

Para comprender mejor estos tipos de violencia y sus alcances, la metáfora de un iceberg recuperada por Casado (2018) es útil: en la punta, aquello que se ve, está la gama de fenómenos visibles como los son los asesinatos (femicidios), agresiones físicas, violaciones, abusos sexuales, gritos, insultos y amenazas. Bajo el agua, pero aún cerca de la superficie, los actos y conductas como desvalorización, humillación, ignorar, despreciar, culpabilizar y aplicar chantaje emocional están presentes. Y hasta el fondo se encuentran aquellas acciones que ya no son fácilmente percibidas como

tal: el humor, la publicidad, el lenguaje sexista, el control, la invisibilización, anulación, entre otras.



Figura 1. El iceberg de la violencia de género. Fuente: Amnistía Internacional (2020).

En consecuencia, se recupera la categoría de micromachismos propuesta por Luis Bonino (1996), los cuales son definidos como las acciones del orden de lo capilar —casi imperceptibles— con las que se pretende mantener el dominio de lo masculino y atenta contra la autonomía femenina, es decir, une la noción de machismo —que mantiene la dominación masculina— pero agrega el prefijo micro al referirse a la característica sutil que tienen estas conductas o acciones. Propone, además, la existencia de cuatro tipos de micromachismos:

- Utilitarios: como su nombre indica, de índole utilitaria, es decir, generalmente presentes en momentos de delegación de responsabilidad por parte de los varones en situaciones donde la responsabilidad es compartida. Probablemente, lo más naturalizados, ya que derivan de la división entre lo público y lo doméstico.
- Coercitivos: intentan doblar a la mujer, limitar su libertad y expoliar su pensamiento. Generan un acrecentado sentimiento de derrota. Entre éstos se encuentran: la intimidación, el control del dinero, hacer un uso abusivo del espacio, insistencia abusiva, imposición de intimidad, apelación de la superioridad de la lógica de varón, toma

o abandonos repentinos del mando de la situación.

- Encubiertos: atentan de modo eficaz contra la autonomía y la simetría relacional. Buscan hacer a la mujer dependiente de la aprobación masculina. A pesar de no generar una reacción inmediata, sus efectos son coaccionantes. Entre ellos están: abuso de la capacidad de cuidado (roles a cumplir a lo largo de la historia como ser madre, cuidar, educar, etc.), creación de falta de intimidad (silencio, aislamiento, poner límites, avaricia de reconocimiento y disponibilidad, inclusión invasiva de terceros), pseudointimidad (comunicación defensiva-ofensiva, engaños y mentiras), desautorización (descalificaciones, negación de lo positivo, colusión con terceros, terrorismo misógino, autoalabanzas y autoadjudicaciones), paternalismo, manipulación emocional (culpabilización-inocentización, dobles mensajes afectivos, enfurruñamiento), autoindulgencia y autojustificación (hacerse el tonto, impericias y olvidos selectivos, comparaciones ventajosas, pseudoimplicación doméstica, minusvaloración de los propios errores).
- De crisis: utilizados en momento de desequilibrio de poder en las relaciones. Ahí encontramos el hipercontrol, el pseudoapoyo, resistencia pasiva y distanciamiento, rehuir a la crítica y la negociación, hacer promesas y méritos, victimismo, darse tiempo para cambiar, dar lástima.

Aunque dicho autor los describe y clasifica en un contexto de parejas heteronormadas en matrimonio, al considerar que el machismo permea la cultura y sus expresiones a diferentes niveles, es posible pensarlos en cada intercambio social de la vida cotidiana. Especialmente dentro de un

contexto en el cual en el discurso se ha superado el machismo, pero las acciones demuestran lo contrario. A lo anterior, Castañeda (2020) denomina como "machismo invisible". Inscritos en cada rincón de la vida cotidiana, los micromachismos se adecúan a las situaciones y a las exigencias de cada contexto. Por esa razón, pensarlos dentro del ámbito académico universitario entre estudiantes es no sólo conveniente, sino necesario. ¿Cuáles son entonces las acciones micromachistas y cómo podemos identificarlas?

La vida cotidiana, según Agnes Heller (1970) – quien fuera exponente de la teoría crítica a la vida cotidiana– se conforma por las actividades que realizan los individuos que la constituyen. Así es como se constituye una reproducción y un sentido a la existencia de una sociedad, a través de pensamientos, motivaciones, afectos y acciones (Uribe Fernández, 2014). De modo que los micromachismos se encuentran en nuestra manera de pensar y el lenguaje con el que nos expresamos, cómo vivimos nuestras emociones, en nuestras subjetividades, nuestras decisiones y las acciones con las que tomamos un determinado lugar en la sociedad: los encarnamos. Además, se hacen presentes como forma de violencia cuando cumplir los mandatos y normas hegemónicas se vuelve una tarea imposible.

Esta violencia se convierte en un cúmulo de acciones que tiene como fin perpetuar el orden establecido, las cuales al determinar lo *normal* son socialmente permitidas y aceptadas. Dentro del contexto universitario, estas prácticas pueden adscribirse a los cuerpos y su capacidad de acción dentro de un espacio académico, expectativas de vida y de comportamiento entre iguales e incluso, al lenguaje común y cotidiano. A pesar de que en México únicamente el 17 % de la población entre los 25 y 64 años cuenta con estudios universitarios, es en estos espacios donde se han denunciado diferentes formas de violencia de género en los últimos años (Cortazar Rodríguez, 2019, pág. 179). Cabe además mencionar que, pese al acceso

igualitario de oportunidades, la autoimagen relacionada a la visión de un futuro de vida sigue afectada por la convivencia y la jerarquía una vez dentro de la academia.

No obstante, existen maneras de hacer frente a estas acciones violentas cotidianas. Heller (1970) sostiene que la vida cotidiana, al caracterizarse por la reproducción de individuos que son el conjunto de actividades que ellos mismos realizan, puede ser cuestionada, criticada y posteriormente modificada. Para ello, propone al arte como principal herramienta, ya que éste puede apelar directamente a los afectos. Tal planteamiento resulta significativo debido a que, tras haber afirmado que el machismo es un valor de intercambio presente en las significaciones que constituyen la subjetividad de las y los individuos que conforman la sociedad actual, interrogarlo resulta primordial: de no hacerlo, las formas de convivencia cotidianas seguirán haciendo sentido.

Entre las múltiples expresiones artísticas – profesionalizadas y como técnicas de apoyo– destaca el Teatro del Oprimido de Augusto Boal (2002), cuyo proceso pretende la recreación y exploración de un determinado conflicto, a través de una representación del mismo. De ese modo, se construye un marco lúdico en el cual se pueden proponer alternativas de acción. En otras palabras, busca que a través de la reflexión y la exploración corpóreo-artística exista una transformación de las prácticas cotidianas que propicie una emancipación.

Se planteó entonces la posibilidad de llevar a cabo un diagnóstico psicosocial acompañado de una intervención de la misma naturaleza a modo de taller, cuyos objetivos fueran identificar las formas y frecuencia de expresión de los micromachismos en jóvenes universitarias y universitarios, a fin de sensibilizar sobre sus efectos psicológicos y sociales, así como la violencia que representan. Además, se pretendió propiciar una reflexión sobre los micromachismos ejercidos en la vida cotidiana universitaria con estudiantes, a través de la

implementación desde Teatro del Oprimido y el Biodrama y, finalmente, explorar posibles alternativas de convivencia a través de la reflexión.

Metodología

La investigación cualitativa, desde la perspectiva de Fernando González Rey (2006), está orientada hacia la construcción de modelos comprensivos. Por esa razón, las Ciencias Sociales se han afiliado a ella. Esta forma de investigación parte de una epistemología que busca un conocimiento de carácter constructivo-interpretativo, es decir, que parte del supuesto de que "la realidad es algo a interpretar" (p. 22) y el conocimiento por lo tanto es siempre una producción humana.

A partir del planteamiento del machismo como noción que atraviesa la convivencia cotidiana, incluso en el ámbito universitario, surge la principal pregunta: ¿de qué manera operan los micromachismos universitarios? Para la cual se llevó a cabo un diagnóstico virtual que retomó como herramienta principal una escala de intensidad que permitiera identificar qué micromachismos podían ser detectados y con qué frecuencia.

La escala se configuró con 25 reactivos contruidos a partir de los cuatro tipos de micromachismos propuestos por Bonino (1996), que sirvieron como categorías de análisis. Para ellos se consideraron actitudes, formas de ocupación del espacio, actividades designadas según el género y también conductas esperadas o socialmente aceptadas.

- mM universitarios utilitarios: refieren a aquella delegación de responsabilidad de actividades respondiendo a una norma de género y apelación de lo doméstico considerado como femenino (jefaturas, organización de convivencias encargada de tareas extra).
- mM universitarios encubiertos: Comportamientos con los que se sostiene cierto control que "acomoda" a las demás,

es decir, que fuerzan su disponibilidad para mantener cierta dirección de las situaciones (distanciamiento a conveniencia, pseudonegociación, inocentización).

- mM universitarios coercitivos: Los más evidentes, ya que implican uso de fuerza (distribución desigual de tiempo y espacio, apelación al uso de argumentos "superiores", humillación, desvalorización, *mansplaining*).
- mM universitarios de crisis: Aquellos que surgen en situaciones de reclamos o cuando la situación comienza a nivelar poderes (ignorar, reaccionar hasta la aparición de un *ultimátum*, "aguantar").

La encuesta fue difundida vía redes sociales virtuales entre estudiantes de universidades tanto públicas como privadas pertenecientes a los estados de Querétaro, Guanajuato, Puebla y Ciudad de México. En el tiempo de una semana y media, las y los participantes totales fueron 86 estudiantes, de quienes 73 se identificaron como mujeres, 12 como hombres y uno no binario

Posteriormente, un dispositivo grupal, a modo taller, fue planeado bajo la lógica del Teatro del Oprimido y el Biodrama. El primero, fundado por Augusto Boal (2002) remite a algunos planteamientos: para el autor, la memoria y la imaginación provienen de un mismo lugar por lo que una situación creada con base en las mismas no sólo se reproduce, sino que se convierte en un espacio de experimentación y modificación de conductas que produce una emancipación a nivel intelectual y corpóreo (2002). Para conseguir dichos objetivos, es necesario considerar cuatro importantes etapas:

- Primera: Conocer el cuerpo, sus competencias y limitaciones a través de una serie de ejercicios.
- Segunda: Tornar el cuerpo expresivo, para experimentar y abandonar las formas cotidianas.

- Tercera: Comprender el teatro como un lenguaje vivo y no sólo como representante del pasado.
- Cuarta: Reconocer el teatro como discurso útil para presentar necesidades, discutir temas o ensayar acciones.

La segunda técnica, el Biodrama de la creadora Vivi Tellas (Urraco Crespo, 2016), se caracteriza por trabajar con experiencias personales. Esta técnica abonó en tanto que considera que los hechos singulares construyen la historia: trabaja a nivel microsociedad y recupera lo crudo y cotidiano de las experiencias para que los pasados individuales se vuelvan colectivos y, con ello, idealmente permeen el nivel macrosociedad. Así, quien lo lleva a cabo, comparte una parte de su intimidad a quien le ve o acompaña; de modo que comienza a formar parte de una historia social (Urraco Crespo, 2016).

Ambos métodos proporcionan una forma de entender el arte teatral que permite integrarla a lo impredecible cotidiano. En otras palabras, incluir la vida diaria en la escena y proporcionar un espacio de exploración y reflexión de ésta. Su combinación resultó en la construcción de un taller conformado por cuatro sesiones, de las cuales cada una contaba a su vez con cuatro momentos clave para retomar el cuerpo como herramienta de expresión dentro del teatro entendido como un arte vivo propio del tiempo presente y también como productor de discurso e incentivo de reflexión. Los momentos fueron los siguientes:

- Momento uno: Conocimiento del cuerpo. A través de ejercicios de exploración reconocer sus limitaciones y competencias para tornarlo expresivo
- Momento dos: Unión de la exploración corporal al tema de reflexión. Introducir el tema a tratar con ayuda de los ejercicios de exploración corporal para reconocer el teatro como lenguaje
- Momento tres: Reflexión central. Dialogar con base en la propia historia y las propias experiencias corporales

- Momento cuatro: Exploración escénica. El teatro como discurso en las experiencias cotidianas y personales vividas para llegar a modificarlas

Además, cada sesión contó con un objetivo a cumplir que dependió directamente del desarrollo de las sesiones que la precedían. De modo que quedaron registrados de la siguiente manera:

- Sesión 1: Introducir a un uso expresivo del cuerpo y a reconocer las expectativas que recaen en una persona según el género al que pertenece.
- Sesión 2: Propiciar una reflexión sobre la propia posición y las acciones que reproducimos cotidianamente en el contexto universitario relacionadas a nuestro género.
- Sesión 3: Identificar en la expresión corporal de las y los otros alternativas de acción para una convivencia distinta.
- Sesión 4: Experimentar la emancipación interna y externamente a partir de la representación de situaciones propias y su modificación jugando un mismo papel.

El dispositivo fue implementado durante el mes de marzo del año 2021 y su modalidad virtual implicó la adaptación de actividades que consideraran el desfase espacio-temporal en la comunicación, la exploración corporal fuera de cámara o adscrito únicamente a la parte superior corporal (parte captada por la cámara) y sin riesgo de lesión, así como la inclusión mayor de lenguaje hablado a ejercicios de acción.

La convocatoria y los acuerdos fueron difundidos de manera virtual, a través de redes sociales virtuales (Facebook y WhatsApp). Sin embargo, fue explicitada la necesidad de obtener un consentimiento informado, así como la confidencialidad de la información recabada.

Finalmente, para el registro de información se prepararon cartas descriptivas de cada sesión que incluyeron población y objetivos, una bitácora de

notas útiles para el proceso de investigación y recolección de información durante las sesiones y, de la misma manera, la grabación de las sesiones a través de la plataforma de videollamadas mediante la cual fueron llevadas a cabo, de modo que se facilitara la transcripción de información y la visión objetiva de los hechos.

Resultados

Los principales hallazgos fueron divididos en dos etapas: los del diagnóstico aplicado y los obtenidos una vez aplicado el dispositivo de intervención. Esto se debe a que la información mostrada en el diagnóstico fue base para construcción del taller. Además, porque durante la aplicación del dispositivo las categorías de análisis se ampliaron.

Entre los resultados arrojados por el diagnóstico se destacan algunas cuestiones. Cabe mencionar que fue notoria la participación desigual por género, pues sólo 12 de las 86 personas participantes se identificaron como hombres y uno como no binario; sin embargo, esta información permitió una primer interpretación de las diversas formas de participación en actividades que no se constituyen como obligatorias o de interés: la de las mujeres es cuantificablemente mayor y en su mayoría pertenecían a programas de estudios de licenciaturas relacionadas a las Ciencias Sociales, Artes y Humanidades. Por otro lado, la encuesta se formó de 11 reactivos alusivos a los mM utilitarios, 5 alusivos a los mM encubiertos, 7 alusivos a los mM coercitivos y 2 enunciados comparativos alusivos a los mM de crisis. Cada reactivo constaba de 10 puntos a evaluar según la frecuencia en que se podía identificar la situación. El mayor puntaje a obtener era de 250 y el menor de 25. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Una alta frecuencia en el ejercicio de micromachismos dentro del ambiente cotidiano universitario (Tabla 1) demostrable en la delegación de responsabilidades hacia las mujeres detrás de sutiles forzamientos o "inocentizaciones" (Tabla 2). Asimismo, ocurren de conflicto directo, aunque con mayor dificultad para su

identificación, puesto que el factor género parece desdibujarse en la presencia del mismo. Dicha información sostiene las formas de naturalización y encarnación de microviolencias y desiguales expectativas del ejercicio de actividades a pesar del acceso igualitario. Por lo tanto, se sustentó la importancia de la intervención psicosocial en espacios académicos respecto a las conductas violentas socialmente aceptadas.

Promedio	159.5581395
Mediana (media)	165.5
Mínimo	71
Máximo	211
Desviación estándar	31.66947116

Tabla 1. Medidas de tendencia central y dispersión. Fuente: elaboración propia.

No. De pregunta	Tipo de micromachismo	Promedio
1	Utilitario	7.69
2	Utilitario	7.65
3	Utilitario	8.24
4	Utilitario	4.91
5	Utilitario	6.4
6	Utilitario	7.39
7	Utilitario	8.05
8	Utilitario	6.8
9	Utilitario	7.58
10	Utilitario	8.29
11	Utilitario	8.47
12	Encubierto	7.32
13	Encubierto	4.72
14	Encubierto	5.54
15	Encubierto	4.61
16	Encubierto	8.31
17	Coercitivo	5.44
18	Coercitivo	5.83
19	Coercitivo	6.45
20	Coercitivo	4.44
21	Coercitivo	4.13
22	Coercitivo	5.54
23	Coercitivo	5.26
24	De crisis	5.29
25	De crisis	5.09

Tabla 2. Tipos de micromachismos y promedio de frecuencia. Fuente: elaboración propia.

El dispositivo de intervención, por su parte, trajo consigo nuevos hallazgos y categorías de análisis relacionadas estrechamente a los objetivos con los cuales se construyó, a través no sólo de los ejercicios teatrales que representaban la vida cotidiana sino también de los propios cuestionamientos y reflexiones de las y los participantes.

Un dato importante de mencionar, ya que deviene en sesgo, es que todas y todos los participantes pertenecían a una licenciatura afín a las ciencias sociales o de administración con corte social: psicología clínica, psicología social, psicología educativa, periodismo y comunicación y negocios turísticos; las cuales son licenciaturas en las que existe una predominancia de mujeres en la matrícula, como señalaron. Dada la participación voluntaria, este dato nos demuestra que son las personas que cursan carreras con un previo interés en este tipo de temáticas las que otorgan importancia, así como el tiempo y disposición, a cuestionar y trabajar violencias y discriminación cotidiana. Además, todas y todos los participantes estudian en las capitales de sus ciudades por lo que, en primera instancia, se asumen experiencias semejantes. Por último, de siete participantes, cuatro son mujeres y tres son hombres.

Por otro lado, para el análisis se consideraron los mensajes expresados explícitamente y los metamensajes que se confirmaban con las reflexiones posteriores. En cuanto a la categoría de género surgió una primera problemática, pues al estar entretejida con la categoría de estudiante, las exigencias parecían ser igualitarias en tanto que se apelaba a una responsabilidad y a expectativas específicas de acuerdo a la carrera cursada; sin embargo, al realizar un profundo análisis de las vivencias y prácticas cotidianas realizadas se encontró que tanto hombres como mujeres las llevaban a cabo. Mas la diferencia era reconocida en la convivencia, es decir, en las reacciones de las personas alrededor o bien, en las consecuencias que las acciones tenían. A continuación, se

muestran afirmaciones observables en comentarios recuperados:

- "No es lo mismo ser *la castrosa* del salón que ser *el castroso* del salón" (Participante A, comunicación personal, 11 de marzo 2021).
- "Cuando hay conflictos las mujeres en mi cabeza no descansamos hasta solucionar y mis compañeros simplemente se van" (Participante L, 18 de marzo 2021).
- "En los ejercicios fue evidente cómo no se toma la misma actitud, aunque las acciones sean las mismas" (Participante H, 18 de marzo 2021).

Los micromachismos como concepto y categoría central de la intervención fueron analizados, a través de la explicación teórica y de los distintos ejercicios teatrales planteados durante el taller, para que con ello con ello fuera posible el cumplimiento del principal objetivo. Éste consistía en identificar las formas cómo se manifiestan dentro del contexto cotidiano universitario. Ésto fue posible una vez trabajado el concepto de género y sus afectaciones en las y los estudiantes universitarias, a través de diferentes dinámicas:

- Un juego de identificación de afirmaciones micromachistas propició un acercamiento a la identificación de conductas normalizadas que resultaron micromachismos, especialmente utilitarios.
- La creación de personajes ejercientes de micromachismos permitió poner en tensión varios aspectos, a partir de sus expresiones que implican un metamensaje machista instalado en las subjetividades y la reflexión de la posición propia: la manera en que son encarnados.
- El planteamiento y puesta en escena de situaciones cotidianas permitió además de la identificación de conductas y acciones micromachistas (de las cuatro clasificaciones), la sensibilización al respecto de la violencia que representan y las diferencias en las experiencias emocionales de vida en mujeres y hombres

a pesar de ser, muchas veces, situaciones compartidas.

- La aplicación de Teatro del Oprimido y Biodrama fungió como espacio de experimentación y aplicación de alternativas de convivencia posibles de trasladar a las prácticas cotidianas, así como un espacio de construcción y liberación de subjetividades ante experiencias recordadas.

Algunas afirmaciones identificables en comentarios de las y los participantes fueron:

- no haber pensado antes en maneras más saludables de actuar dentro de las situaciones propias, sobretodo porque no habían pensado en que pudiera haber un error en sus prácticas;
- que el trasladar a escena la situación permitió liberar tensiones con el juego, pero al mismo tiempo conectar con cuestionamientos;
- haberse animado a reflexionar y alzar más la voz en situaciones donde no siempre se atreven y a considerar los sentimientos sin dejar que nos dominen o nos cieguen ante lo que hacemos y afecta a otras personas;
- haber reconocido también la diferenciación entre experiencias de hombres y mujeres incluso al representar las situaciones, pues para ellos era sencillo reconocer errores y reírse, pero para las mujeres implicaba sensaciones como de "fallarse a sí misma" o "sentirse tonta".

Por último, se recuperaron al final del taller los siguientes saberes que demuestran que el 100 % de participantes pudieron acercarse a una reflexión:

- "Repensar es construir" (Participante H, comunicación personal, 25 de marzo 2021);
- "Una deconstrucción amena y tranquila" (Participante F, comunicación personal, 25 de marzo 2021)

- "Esto me hace pensar que tal vez no son "micromachismos invisibles" sino ignorados y que se han hecho costumbre" (Participante M, comunicación personal, 25 de marzo 2021);
- "Por mi experiencia, me quedo con la palabra valentía" (Participante L, comunicación, 25 de marzo 2021).

Discusión y conclusiones

Con el recorrido que este estudio permitió hacer, se rescatan ciertos puntos clave. Los micromachismos son conductas, sin duda, normalizadas en el cotidiano universitario, puesto que son ejercidas en gran medida. Sin embargo, una vez identificadas es posible notar un interés en no querer reproducirlas más. Por supuesto, el hecho de que la vida cotidiana se encuentre inscrita en una estructura social ya determinada presenta un obstáculo, pero no quiere decir que las acciones a nivel microsociales y sus modificaciones carezcan de importancia. Por el contrario, construyen subjetividades que pueden acercar a una transformación social.

La distinción de género que deriva en machismo y sus microformas de expresión debidas a los mandatos, a pesar de existir para estudiantes hombres y mujeres, no existen por igual. Si bien todos y todas perdemos formas de ser dentro de la estructura, es importante rescatar el reconocimiento de patrones sociales presentes en las relaciones interpersonales para que no puedan continuar su reproducción y, de esta manera, se contribuya también a la desnormalización de conductas violentas, por muy sutiles que puedan mostrarse.

El cuestionamiento de las formas actuales de convivencia puede devenir en el planteamiento de alternativas que sean terreno fértil para la intervención desde la perspectiva psicosocial. La universidad, como espacio plural de

conocimientos, pero también como instancia formadora de individuos, es por consecuencia no solamente propicia para estudiarlos, sino un lugar en el cual la problemática no puede ni debe ser ignorada. Al mismo tiempo, la universidad puede convertirse en una instancia útil para detener el fomento y la propagación de este tipo de conductas.

A pesar de las limitantes, es importante recordar que los valores formadores de la sociedad que atraviesan nuestra convivencia se cultivan y se mantienen en tanto que son reproducidos, por lo que la constancia es necesaria. Si bien existe en las universidades, como en la sociedad, una necesidad de transformación de los factores sociales que han permitido el sostenimiento del machismo y la violencia de género en contra de las mujeres, vale reconocer, o más bien, es imposible de ignorar que las microacciones en contra que han tomado lugar en la actualidad pueden llegar a tener un impacto mayor con el paso del tiempo y de la reproducción de nuevas subjetividades que sumen alternativas a las formas de convivencia.

Referencias bibliográficas

- Amnistía Internacional. (2020). Iceberg de la violencia de género. Recuperado de: https://mujeresantioquia.gov.co/sites/default/files/iceberg_de_la_violencia_de_genero.pdf
- Boal, A. (2002). *Juegos para actores y no actores*. España: Alba Editoria S.I.U.
- Bonino Méndez, L. (1996). Micromachismos: La violencia invisible en la pareja. *Jornadas de la Federación de sociedades españolas de terapia familiar* (pp. 1-19). Madrid: Paidós.
- de Beauvoir, S. (1962). *El segundo sexo*. Buenos Aires: Siglo XX.
- Casado Pérez, P. (2018). *Un estudio sobre el machismo invisible* [Tesis de Licenciatura]. Universidad del País Vasco.
- Castañeda, M. (2020). *El machismo invisible*. México: Debolsillo.
- Cortazar Rodríguez, Francisco Javier. (2019). Acoso y hostigamiento de género en la Universidad de Guadalajara. Habla el estudiantado. *La ventana. Revista de estudios de género*, 6(50), pp. 175-204. Recuperado en 21 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-94362019000200175&lng=es&tling=es

- Galtung, J. (2004). "Violencia, guerra y su impacto. Sobre los efectos visibles e invisibles de la violencia", *Polylog. Foro para filosofía intercultural* 5. Recuperado de: <http://them.polylog.org/5/fgj-es.htm>
- García, A. K. (13 de febrero de 2021). Sólo en los primeros seis meses del 2020 fueron asesinadas 1,844 mujeres en México: INEGI. (s/p). *El Economista*. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Solo-en-los-primeros-seis-meses-del-2020-fueron-asesinadas-1844-mujeres-en-Mexico-Inegi-20210213-0002.html>.
- González Rey, F. (2006). *Investigación Cualitativa y Subjetividad*. Guatemala: Oficina de Derechos Humanos del Arzobispado de Guatemala.
- Guillén, B. (28 de junio de 2021). Los feminicidios en México aumentan un 7,1 % en los cinco primeros meses de 2021. *El país*. Recuperado de: <https://elpais.com/mexico/2021-06-28/los-feminicidios-en-mexico-aumentan-un-71-en-los-cinco-primeros-meses-de-2021.html>.
- Heller, Á. (1970). *Sociología de la vida cotidiana*. Budapest: Ediciones península.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). (Lamas, 1995) Aguascalientes, Aguascalientes, México. Recuperado de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825051044.pdf
- Lamas, M. (1995). Usos, dificultades y posibilidades de la categoría de género. *La ventana*, 1(1), pp. 9-61.
- Rivera-López, M. (2021). *Mujeres en Semilibertad y Convivencia: Construcción de Redes y Transformación de Conflictos desde la Educación para la Paz*. [Tesis de Doctorado]. Universidad de Granada.
- Uribe Fernández, M. L. (enero-junio de 2014). La vida cotidiana como espacio de construcción social. *Procesos Históricos*, (25), pp. 100-113.
- Urraco Crespo, J. M. (enero-julio de 2016). Apuntes sobre las dramaturgias de lo real en Argentina. *Investigación teatral*, 6(9), pp. 115-130.

Asociación de variantes genéticas de MC4R, PCSK1 y POMC a obesidad

Ricardo Omar Cadena López¹, Valeria Jaqueline Soto Ontiveros¹, Beatriz Adriana Aguilar Galarza², Miriam Aracely Anaya Loyola², Teresa García Gasca², Willebaldo García Muñoz³, Víctor Manuel Rodríguez García⁴ y Ulisses Moreno Celis^{2*}.

¹ Ingeniería en Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro 76010. (R.O.C.L.) (V.J.S.O.)

² Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro 76230.

³ Código 46 SA de CV, Cuernavaca, Morelos 62498.

⁴ Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, San Pablo, Querétaro 76130.

Resumen

La presencia de polimorfismos de nucleótido único (SNP) en genes pertenecientes a rutas metabólicas reguladoras del apetito, como la vía de la proopiomelanocortina, pueden ser factores de riesgo para el desarrollo de obesidad y otras enfermedades crónicas no transmisibles y otras enfermedades metabólicas. El objetivo del presente trabajo fue determinar frecuencias génicas de una población joven mexicana de genes pertenecientes a la vía de la melanocortina, así como precisar el papel de los SNPs frente a distintos marcadores clínicos de obesidad. De una muestra de 650 participantes del programa SUSALUD-UAQ y previamente genotipificados, se obtuvieron antecedentes heredofamiliares, datos antropométricos y bioquímicos. Posteriormente, se realizaron análisis de t de Student para determinar las características generales de la población. Se determinaron frecuencias alélicas y genéticas por medio del complemento de Microsoft Excel GenALEX; así como pruebas de Chi² para determinar la asociación entre marcadores clínicos y variantes de los genes MC4R (rs2229616 y rs34114122); POMC (rs934778, rs7591899 y rs28932472) y PCSK1 (rs13169290, rs6889272, rs17392686, rs6232, rs1498928 y rs156026) de los cuales se observaron asociados a variaciones en el índice de masa corporal, % de grasa corporal, glucosa, colesterol de baja densidad (LDL) y antecedentes heredofamiliares de hipertensión arterial y enfermedad cardiovascular. Así, se encontró que existe asociación entre SNPs de los genes MC4R, PCSK1 y POMC con marcadores clínicos de obesidad.

Palabras clave: marcadores de riesgo y protección, polimorfismos de nucleótido único, vía de la melanocortina

Summary

The presence of single nucleotide polymorphisms (SNPs) in genes belonging to appetite regulatory metabolic pathways, such as the proopiomelanocortin pathway, can be risk factors for the development of obesity and other chronic non-communicable diseases and other metabolic diseases. The main purpose of this work was to determine gene frequencies of a young Mexican population of genes belonging to the melanocortin pathway, as well as to specify the role of SNPs against different clinical markers of obesity. From a sample of 650 participants of the SUSALUD-UAQ program and previously genotyped, hereditarily antecedents, anthropometric and biochemical data were obtained; and Student's t analyzes were carried out to determine the general characteristics of the population; allele and genetic frequencies were determined using the Microsoft Excel GenALEX add-in; as well as Chi² tests to determine the association between clinical markers and variants of the MC4R genes (rs2229616 and rs34114122); POMC (rs934778, rs7591899 and rs28932472) and PCSK1 (rs13169290, rs6889272, rs17392686, rs6232, rs1498928 and rs156026) of which were observed associated with variations in the body mass index (% of low body fat, glucose, cholesterol LDL) and a family history of high blood pressure and cardiovascular disease. There is an association between SNPs of the MC4R, PCSK1 and POMC genes with clinical markers of obesity.

Key-words: obesity, melanocortin pathway, MC4R, PCSK1, POMC.

Introducción

La obesidad es un trastorno en el que se presenta una acumulación excesiva o una distribución anormal de grasa. Es considerada uno de los problemas de salud más frecuente a nivel mundial (Mayoral et al., 2020). En la actualidad, hay diferentes metodologías que nos permiten saber si una persona es obesa o no. Una de ellas es el Índice de Masa Corporal (IMC), en el cual, un individuo podría ser catalogado como obeso al presentar un valor mayor o igual a 30 kg/m² (Nordang et al., 2017). A pesar de que el IMC es un gran modelo de referencia, éste no nos permite realizar una discriminación basada en el porcentaje de grasa. Es por ello que existen individuos cuyos valores de IMC son considerados normales (IMC= 18.5-24.9 kg/m²), pero presentan una acumulación de grasa en el área abdominal, la cual es provocada por un consumo excesivo de calorías y una baja actividad física. A este tipo de obesidad se le conoce como obesidad central. (Bendall et al., 2018). La obesidad y el sobrepeso son la causa de muerte de más de 2.8 millones de personas al año, tan sólo en México, la obesidad es tomada en cuenta como la principal preocupación de salud pública. Para 2018, el 36.1 % de los adultos mexicanos tenían obesidad (basado en el IMC), mientras que el 81.6 % de todos los adultos presentaban obesidad central (Barquera & Rivera, 2020; Mohammed, Sendra, Lloret, & Bosch, 2018). La obesidad se puede considerar una enfermedad metabólica y sus preocupaciones no sólo se enfocan en el exceso de grasa en el cuerpo, sino a los distintos desórdenes que se pueden desencadenar a través de ello, dentro de los cuales se presenta el hígado graso, la diabetes mellitus tipo 2, problemas ortopédicos, asma, apnea del sueño, enfermedades cardiovasculares, entre otros (Aceves-Martins, Llauro, Tarro, Solà, & Giralt, 2016). Durante los últimos años se han buscado diferentes causas que puedan conllevar a que un paciente sea obeso. Se han observado mutaciones en genes relacionados al metabolismo y al apetito en humanos. Por ello, la identificación de polimorfismos de nucleótido único (SNP) en este tipo de rutas, especialmente la de la leptina y la de la melanocortina, han sido de principal interés para los investigadores (Singh, Kumar, & Mahalingam, 2017).

La ruta de la melanocortina está regulada bajo la producción en los adipocitos de leptina (LEP) y su receptor (LEPR) ubicado en las neuronas del núcleo arcuato del hipotálamo. LEP induce la expresión de la proopiomelanocortina (POMC), este péptido es precursor de las hormonas alfa y beta estimuladores de melanocito (α/β -MSH), las cuales se forman por la degradación de POMC mediante la prohormona convertasa 1 (PCSK1) y otras enzimas específicas, α/β -MSH son reconocidas por el receptor 4 de melanocortina (MC4R) de las neuronas del núcleo paraventricular del hipotálamo. Esta señal permite que el cuerpo tenga una sensación de saciedad y un incremento en el uso de energía (Ayers et al., 2018; Fairbrother, Kidd, Malagamuwa, & Walley, 2018; Nordang et al., 2017). Las principales mutaciones que han presentado una correlación con pacientes con obesidad se encuentran en los genes LEP, LEPR, POMC, PCSK1, y MC4R (Singh et al., 2017). Debido a la premisa anterior, en este trabajo se evaluaron las asociaciones de variantes genéticas de MC4R, POMC y PCSK1 en mexicanos jóvenes con marcadores clínicos relacionados con obesidad.

Metodología

Se utilizó una base de datos con variables clínicas y genéticas de 650 individuos (hombres y mujeres). A partir de la base de datos, se obtuvieron las frecuencias alélicas de cada variante genética (2 variantes para el gen MC4R, siete para PCSK1 y 3 para POMC) y se relacionaron con distintos marcadores clínicos utilizando el paquete multiplataforma para Excel, GenA1Ex (Genetic Analysis in Excel) versión 6.5.

Los marcadores clínicos que se tomaron en cuenta fueron los antecedentes heredofamiliares de la diabetes mellitus tipo 2, de enfermedades cardiovasculares, de hipertensión arterial, de sobrepeso u obesidad, así como su circunferencia de cintura, índice cintura cadera, índice cintura estatura, porcentaje de grasa corporal, IMC, niveles de glucosa, de colesterol, de triglicéridos, de HDL y de LDL.

Para la determinación de las frecuencias alélicas y genéticas se cuantificó y analizó la cantidad de homocigotos y heterocigotos presentes para la muestra. Finalmente se utilizó el software estadístico

Statistical Package for the Social Sciences IBM (SPSS) versión 26, para el análisis estadístico de asociación por medio de tablas dinámicas, donde se obtuvo la razón de momios e intervalo de confianza (95 %).

Resultados y discusiones

De la población evaluada se observaron diferencias estadísticas significativas en variables como la talla, el peso, circunferencia de cintura (CC), el índice cintura-cadera (ICC), el índice de masa corporal (IMC), porcentaje de grasa corporal, glucosa, triglicéridos, colesterol total y colesterol de baja densidad (LDL) tal como se muestra en la Tabla 1.

	Sexo	N	Promedio	D.E.	valor de p
Edad (años)	Mujer	331	19.10	1.81	0.31
	Hombre	307	19.58	3.48	
Talla (cm)	Mujer	326	159.61	6.31	0.00
	Hombre	306	171.54	7.05	
Peso (kg)	Mujer	324	1.77	0.08	0.00
	Hombre	302	1.84	0.07	
CC (m)	Mujer	327	1.89	0.06	0.00
	Hombre	307	1.92	0.06	
ICC	Mujer	327	-0.10	0.04	0.00
	Hombre	307	-0.06	0.03	
ICE	Mujer	324	-0.73	0.14	0.59
	Hombre	306	-0.72	0.13	
IMC (Kg/m ²)	Mujer	321	1.36	0.07	0.02
	Hombre	303	1.37	0.07	
Grasa Corporal (%)	Mujer	315	31.32	7.26	0.00
	Hombre	297	21.20	8.02	
Glucosa (mg/dL)	Mujer	306	81.88	8.43	0.00
	Hombre	283	84.83	8.57	
Triglicéridos (mg/dL)	Mujer	302	1.93	0.20	0.00
	Hombre	279	1.98	0.23	
Colesterol (mg/dL)	Mujer	306	157.14	27.3	0.90
	Hombre	281	156.85	30.6	

	Sexo	N	Promedio	D.E.	valor de p
HDL (mg/dL)	Mujer	303	1.71	0.11	0.00
	Hombre	283	1.67	0.10	
LDL (mg/dL)	Mujer	304	1.91	0.12	0.42
	Hombre	280	1.92	0.12	

Tabla 1. Características generales de la población. CC= Circunferencia de cintura; ICC= Índice cintura-cadera; ICE= Índice cintura-estatura; IMC= Índice de masa corpórea; HDL= Colesterol de alta densidad; LDL= Colesterol de baja densidad. $p \leq 0.05$ por análisis de *t* de student. Fuente: elaboración propia.

Esta diferencia en las variables se ha adjudicado a las diferencias biológicas entre hombres y mujeres, así como hábitos y estilos de vida diferentes entre los sexos (Maycotte-Cervantes et al., 2020).

En el presente trabajo se analizaron las frecuencias genéticas de acuerdo con el modelo dominante, el cual consiste en utilizar el genotipo homocigoto de referencia como normal (Dominante) y el heterocigoto y homocigoto del SNP como recesivo. En la Tabla 2 se pueden observar las frecuencias genéticas de las variantes estudiadas.

GEN	SNP	GENOTIPO		Frecuencia (%)
MC4R	rs2229616	Dominante	CC	98.6
		Recesivo	CT/TT	1.4
	rs34114122	Dominante	TT	96.4
		Recesivo	GG/TG	3.6
PCSK1	rs13169290	Dominante	GG	77
		Recesivo	AA/GA	23
	rs6232	Dominante	TT	97.1
		Recesivo	CT/TT	2.9
	rs271923	Dominante	CC	47.4
		Recesivo	TT/CT	52.6
	rs156026	Dominante	AA	29.4
		Recesivo	GG/AG	70.6
rs1498928	Dominante	GG	69.4	

GEN	SNP	GENOTIPO		Frecuencia (%)
	rs17392686	Recesivo	AA/GA	30.6
		Dominante	AA	98.8
	rs6889272	Recesivo	GG/AA	1.2
		Dominante	TT	92.6
POMC	rs28932472	Dominante	GG	43.5
		Recesivo	CC/GC	56.5
	rs7591899	Dominante	GG	96.9
		Recesivo	AA/GA	3.1
	rs934778	Dominante	AA	57.4
		Recesivo	GG/AG	42.6

Tabla 2. Frecuencias genéticas. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestran los resultados que se obtuvieron a partir del análisis estadístico de los SNPs del gen MC4R. En un estudio en población de Arabia Saudita se observó que el polimorfismo rs2229616 se asoció 16.19 veces con el riesgo de diabetes mellitus tipos 2 (DM2) (Bakhashab et al., 2020); del mismo modo en el presente trabajo muestra que la presencia del polimorfismo es un factor de riesgo en la población estudiada (OR= 6.322, p=0.05). Por otro lado, el polimorfismo rs34114122, del mismo gen, no mostró resultados estadísticamente significativos en el presente estudio, sin embargo en otros estudios se ha asociado con efectos en la producción de la hormona ghrelina, encargada de procesos de regulación de la saciedad (Cole et al., 2010).

Por su parte, los péptidos derivados de POMC son de principal importancia en la vía de la melanocortina, la deficiencia de ellos afecta en la sensibilidad de insulina, específicamente el SNP rs934778 se ha asociado a DM2 (Zeng et al., 2019). En la Tabla 4 podemos ver que dicho polimorfismo se presentó como un factor de protección respecto al IMC y al porcentaje de grasa (OR=0.694 y 0.629 respectivamente). Por otro lado, el SNP rs7591899 no se catalogó como un factor de riesgo o protección, ya que no se presentaron resultados significativos

estadísticamente, así mismo, a nuestro entender, no existen publicaciones que hayan encontrado una relación entre dicho polimorfismo y el desarrollo de obesidad.

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
rs2229616	AHF-DM2	1.589	0.306-8.252	0.579
	AHF-ECV	0.455	0.054-3.81	0.457
	AHF-HTA	1.79	0.345-9.295	0.483
	AHF-Sobrepeso	0.648	0.144-2.917	0.325
	Circunferencia de Cintura	0.365	0.044-3.056	0.333
	ICC	0.986	0.976-0.996	0.906
	ICE	0.219	0.026-1.826	0.123
	%Grasa Corporal	0.171	0.020-1.425	0.064
	IMC	0.331	0.040-2.767	0.283
	Glucosa	6.322	0.716-55.828	0.058
	Colesterol	0.987	0.978-0.997	0.439
	Triglicéridos	0.651	0.078-5.461	0.69
	HDL	1.336	0.296-6.025	0.706
	LDL	0.988	0.979-0.997	0.568
rs34114122	AHF-DM2	1.18	0.464-3.001	0.727
	AHF-ECV	1.186	0.438-3.137	0.731
	AHF-HTA	1.07	0.431-2.654	0.885
	AHF-Sobrepeso	0.864	0.354-2.105	0.747
	Circunferencia de Cintura	0.731	0.262-2.039	0.547
	ICC	0.968	0.953-0.984	0.857
	ICE	1.09	0.445-2.668	0.851
	%Grasa Corporal	1.161	0.465-2.898	0.749
	IMC	0.344	0.100-1.189	0.078
	Glucosa	0.972	0.959-0.986	0.499
	Colesterol	0.785	0.101-6.081	0.816
	Triglicéridos	0.903	0.253-3.222	0.875
	HDL	1.067	0.382-2.977	0.902
	LDL	1.467	0.186-11.548	0.714

Tabla 3. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen MC4R en la población general. AHF-DM2= Antecedente heredofamiliar de diabetes mellitus tipo 2; AHF-ECV= Antecedente heredofamiliar de enfermedades cardiovasculares; AHF-HTA= Antecedente heredofamiliar de hipertensión arterial; CC=

Circunferencia de cintura; ICC= Índice cintura-cadera; ICE= Índice cintura-estatura; IMC= Índice de masa corpórea; HDL= Colesterol de alta densidad; LDL= Colesterol de baja densidad. Se determinó el valor de *p* por análisis de *Chi*² (*p* ≤ 0.05) y se calcularon las razones de momio (OR) y 95% del intervalo de confianza (I.C.). Fuente: elaboración propia.

Respecto al SNP rs28932472 del gen POMC no se observó alguna correlación entre la presencia del polimorfismo y el factor de riesgo o de protección (Tabla 4). A pesar de ello, algunos trabajos publicados con anterioridad han reportado una influencia de este polimorfismo con mayores niveles de LDL y mayor riesgo de obesidad en niños, específicamente de una población brasileña conformada por niños y adolescentes (Queiroz et al., 2015).

Tabla 4. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen POMC en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
rs934778	AHF-DM2	0.853	0.618-1.178	0.335
	AHF-ECV	0.828	0.578-1.186	0.303
	AHF-HTA	0.959	0.697-1.320	0.798
	AHF-Sobrepeso	1.099	0.801-1.507	0.559
	Circunferencia de Cintura	0.817	0.50-1.150	0.246
	ICC	0.427	0.386-0.472	0.247
	ICE	0.837	0.608-1.152	0.275
	%Grasa Corporal	0.629	0.455-0.869	0.005
	IMC	0.694	0.493-0.977	0.036
	Glucosa	1.059	0.389-2.884	0.91
	Colesterol	0.782	0.420-1.458	0.439
	Triglicéridos	0.742	0.491-1.122	0.156
	HDL	0.838	0.595-1.180	0.311
	LDL	0.71	0.311-1.619	0.413
rs7591899	AHF-DM2	0.91	0.383-2.163	0.832
	AHF-ECV	1.296	0.519-3.236	0.577
	AHF-HTA	0.849	0.361-1.995	0.707
	AHF-Sobrepeso	1.043	0.444-2.449	0.924
	Circunferencia de Cintura	1.275	0.526-3.091	0.59
	ICC	0.966	0.951-0.982	0.852
	ICE	1.342	0.573-3.144	0.496
	%Grasa Corporal	0.846	0.346-2.072	0.715

Tabla 4. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen POMC en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
	IMC	0.617	0.223-1.709	0.349
	Glucosa	1.951	0.245-15.542	0.52
	Colesterol	1.331	0.299-5.922	0.707
	Triglicéridos	1.322	0.471-3.712	0.595
	HDL	0.954	0.375-2.429	0.921
	LDL	0.965	0.949-0.980	0.329
rs28932472	AHF-DM2	0.916	0.663-1.267	0.597
	AHF-ECV	1.084	0.758-1.550	0.657
	AHF-HTA	1.016	0.738-1.398	0.925
	AHF-Sobrepeso	1.124	0.820-1.541	0.469
	Circunferencia de Cintura	1.19	0.845-1.675	0.319
	ICC	0.567	0.526-0.612	0.383
	ICE	0.94	0.683-1.293	0.705
	%Grasa Corporal	0.935	0.678-1.289	0.681
	IMC	1.133	0.807-1.589	0.471
	Glucosa	0.928	0.341-2.526	0.883
	Colesterol	1.136	0.613-2.103	0.685
	Triglicéridos	1.262	0.836-1.906	0.267
HDL	0.772	0.550-1.084	0.135	
LDL	0.606	0.275-1.334	0.209	

Tabla 4. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen POMC en la población general. AHF-DM2= Antecedente heredofamiliar de diabetes mellitus tipo 2; AHF-ECV= Antecedente heredofamiliar de enfermedades cardiovasculares; AHF-HTA= Antecedente heredofamiliar de hipertensión arterial; CC= Circunferencia de cintura; ICC= Índice cintura-cadera; ICE= Índice cintura-estatura; IMC= Índice de masa corpórea; HDL= Colesterol de alta densidad; LDL= Colesterol de baja densidad. Se determinó el valor de *p* por análisis de *Chi*² (*p* ≤ 0.05) y se calcularon la razón de momio (OR) y 95% del intervalo de confianza (I.C.). Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan los resultados estadísticos que se obtuvieron de los SNPs correspondientes al gen PCSK1, se puede observar que el polimorfismo rs13169290 es un factor de riesgo relacionado a los antecedentes heredofamiliares de hipertensión arterial (OR= 1.549) y a los niveles de LDL (OR= 2.342). A nuestro entender no hay publicaciones referentes a la relación de este polimorfismo con algún factor

antropométrico, por lo que se consideró como un SNP que debería investigarse a mayor profundidad.

El polimorfismo rs6232 del gen PCSK1 se presentó como un factor de riesgo relacionado a antecedentes heredofamiliares de enfermedades cardiovasculares, este SNP ha sido asociado con anterioridad a un mayor riesgo de obesidad tanto en niños como en adultos (Jarvela et al., 2019). Probablemente no se presentaron los resultados esperados en los marcadores de porcentaje de grasa e IMC por el tamaño de nuestra muestra.

De acuerdo con nuestra investigación bibliométrica, no se encuentran registros de publicaciones relacionadas a los SNPs rs6889272, rs17392686, rs1498928, rs156026 ni rs271923.

Tabla 5. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen PCSK1 en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
rs13169290	AHF-DM2	0.941	0.643-1.377	0.775
	AHF-ECV	1.054	0.692-1.604	0.805
	AHF-HTA	1.549	1.049-2.288	0.027
	AHF-Sobrepeso	0.733	0.505-1.605	0.103
	Circunferencia de Cintura	0.926	0.618-1.387	0.708
	ICC	0.777	0.741-0.814	0.814
	ICE	0.969	0.666-1.412	0.871
	% Grasa Corporal	0.906	0.619-1.324	0.609
	IMC	0.792	0.527-1.188	0.259
	Glucosa	1.653	0.564-4.847	0.355
	Colesterol	1.829	0.955-3.505	0.065
	Triglicéridos	0.9988	0.608-1.607	0.962
	HDL	0.979	0.652-1.471	0.919
	LDL	2.342	1.036-5.295	0.036
rs6889272	AHF-DM2	3.198	0.581-17.595	0.158
	AHF-ECV	0.725	0.131-3.992	0.71
	AHF-HTA	1.41	0.282-7.041	0.674
	AHF-Sobrepeso	1.154	0.231-5.762	0.861
	Circunferencia de Cintura	2.736	0.327-22.879	0.333
	ICC	0.986	0.976-0.996	0.906
	ICE	4.576	0.48-38.237	0.123

Tabla 5. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen PCSK1 en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
	% Grasa Corporal	2.427	0.467-12.605	0.276
	IMC	3.022	0.361-25.266	0.283
	Glucosa	0.99	0.981-0.998	0.681
	Colesterol	0.989	0.980-998	0.474
	Triglicéridos	1.277	0.148-11.032	0.824
	HDL	0.278	0.05-1.53	0.116
	LDL	0.989	0.981-0.998	0.597
rs17392686	AHF-DM2	0.631	0.039-10.142	0.743
	AHF-ECV	0.996	0.990-1.002	0.393
	AHF-HTA	1.005	0.998-1.013	0.232
	AHF-Sobrepeso	0.867	0.054-13.926	0.92
	Circunferencia de Cintura	2.218	0.138-35.646	0.564
	ICC	0.996	0.991-1.002	0.95
	ICE	1.33	0.083-21.353	0.84
	% Grasa Corporal	1.04	0.065-16.705	0.978
	IMC	2.01	0.125-32.291	0.615
	Glucosa	0.997	0.992-1.001	0.813
rs6232	Colesterol	0.996	0.991-1.001	0.681
	Triglicéridos	0.996	0.990-1.002	0.475
	HDL	0.995	0.987-1.002	0.288
	LDL	0.996	0.992-1.001	0.761
	AHF-DM2	0.622	0.265-1.457	0.27
	AHF-ECV	2.873	1.222-6.757	0.012
	AHF-HTA	1.255	0.519-3.036	0.614
	AHF-Sobrepeso	0.863	0.369-2.021	0.734
	Circunferencia de Cintura	1.69	0.7-4.080	0.238
	ICC	0.966	0.951-0.982	0.852
	ICE	1.216	0.509-2.905	0.66
	% Grasa Corporal	1.258	0.535-2.958	0.597
	IMC	0.933	0.375-2.326	0.882
	Glucosa	0.969	0.955-0.983	0.472
Colesterol	0.967	0.952-0.982	0.211	
Triglicéridos	1.532	0.535-4.384	0.423	
HDL	1.809	0.707-4.629	0.21	
LDL	0.968	0.954-983	0.355	

Tabla 5. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen PCSK1 en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
rs1498928	AHF-DM2	1.155	0.458-2.913	0.76
	AHF-ECV	1.018	0.361-2.871	0.973
	AHF-HTA	1.023	0.406-2.578	0.962
	AHF-Sobrepeso	2.017	0.784-5.192	0.138
	Circunferencia de Cintura	0.769	0.298-1.983	0.585
	ICC	0.97	0.956-0.985	0.861
	ICE	1.3	0.505-3.349	0.585
	% Grasa Corporal	1.64	0.65-4.312	0.281
	IMC	0.851	0.33-2.194	0.738
	Glucosa	0.969	0.955-.983	0.472
	Colesterol	0.967	0.952-0.982	0.211
	Triglicéridos	1.283	0.365-4.505	0.697
	HDL	0.553	0.216-1.415	0.21
	LDL	0.968	0.954-983	0.355
rs156026	AHF-DM2	0.809	0.569-1.152	0.24
	AHF-ECV	0.839	0.574-1.226	0.364
	AHF-HTA	1	0.709-1.412	0.999
	AHF-Sobrepeso	0.934	0.664-1.313	0.694
	Circunferencia de Cintura	0.799	0.557-1.146	0.222
	ICC	0.704	0.665-0.744	0.516
	ICE	0.988	0.701-1.393	0.944
	%Grasa Corporal	1.005	0.712-1.419	0.975
	IMC	0.985	0.686-1.416	0.936
	Glucosa	0.729	0.261-2.038	0.545
	Colesterol	1.646	0.798-3.394	0.173
	Triglicéridos	1.038	0.671-1.606	0.868
	HDL	1.244	0.86-1.8	0.247
	LDL	1.9	0.705-5.121	0.197
rs271923	AHF-DM2	1.015	0.598-1.724	0.955
	AHF-ECV	0.825	0.467-1.458	0.508
	AHF-HTA	0.957	0.566-1.620	0.871
	AHF-Sobrepeso	0.886	0.526-1.49	0.647
	Circunferencia de Cintura	0.871	0.506-1.5	0.618
	ICC	0.905	0.88-0.931	0.746
	ICE	1.079	0.636-1.831	0.777

Tabla 5. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen PCSK1 en la población general (continúa)

SNP	Marcador clínico	OR	I.C.	p
	%Grasa Corporal	1.105	0.653-1.871	0.709
	IMC	0.971	0.558-1.69	0.917
	Glucosa	0.495	0.137-1.789	0.274
	Colesterol	2.722	0.643-11.513	0.157
	Triglicéridos	1.069	0.550-2.078	0.844
	HDL	0.88	0.512-1.512	0.644
	LDL	1.426	0.329-6.183	0.634

Tabla 5. Análisis estadístico sobre la relación entre los factores morfológicos SNP del gen PCSK1 en la población general. AHF-DM2= Antecedente heredofamiliar de diabetes mellitus tipo 2; AHF-ECV= Antecedente heredofamiliar de enfermedades cardiovasculares; AHF-HTA= Antecedente heredofamiliar de hipertensión arterial; CC= Circunferencia de cintura; ICC= Índice cintura-cadera; ICE= Índice cintura-estatura; IMC= Índice de masa corpórea; HDL= Colesterol de alta densidad; LDL= Colesterol de baja densidad. Se determinó el valor de p por análisis de χ^2 ($p \leq 0.05$) y se calcularon las razones de momio (OR) y 95 % del intervalo de confianza (I.C.). Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se encontró que el polimorfismo rs2229616 en nuestra población fue un factor de riesgo relacionado a la concentración de glucosa, a pesar de que anteriores estudios lo plantearan como un factor de protección contra DM2 y obesidad.

El polimorfismo rs934778 del gen POMC resultó ser un factor de protección en relación al IMC y al porcentaje de grasa. Se propuso explicar este evento con la previa asociación a la diabetes que se le había adjudicado.

De manera innovadora se propuso al SNP rs13169290 del gen PCSK1 como un polimorfismo que tiene efectos de riesgo sobre hipertensión arterial y niveles de LDL. La identificación del polimorfismo rs6232, del gen PCSK1, como un factor de riesgo a antecedentes heredofamiliares de enfermedades cardiovasculares, enriquece la caracterización previa del polimorfismo como un factor de riesgo para el desarrollo de obesidad.

La propuesta de nuevos polimorfismos como factores de riesgo o de protección para el desarrollo de obesidad nos permite abrir nuevos campos de

investigación y la búsqueda de nuevos tratamientos para el cuidado de la obesidad y sus enfermedades relacionadas.

Referencias

- Aceves-Martins, M., Llauradó, E., Tarro, L., Solà, R., & Giralt, M. (2016). Obesity-promoting factors in Mexican children and adolescents: Challenges and opportunities. *Global Health Action*, 9. Co-Action Publishing. DOI: <https://doi.org/10.3402/gha.v9.29625>
- Ayers, K. L., Glicksberg, B. S., Garfield, A. S., Longrich, S., White, J. A., Yang, P., ... van der Ploeg, L. H. T. (2018). Melanocortin-4 receptor pathway dysfunction in obesity: Patient stratification aimed at MC4R agonist treatment. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. DOI: <https://doi.org/10.1210/jc.2018-00258/4990775>
- Bakhashab, S., Filimban, N., Altall, R. M., Nassir, R., Qusti, S. Y., Alqahtani, M. H., ... Dallol, A. (2020). The Effect Sizes of PPARγ rs1801282, FTO rs9939609, and MC4R rs2229616 Variants on Type 2 Diabetes Mellitus Risk among the Western Saudi Population: A Cross-Sectional Prospective Study. *Genes*, 11(1), pp. 98. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11010098>
- Barquera, S., & Rivera, J. A. (2020). Obesity in Mexico: rapid epidemiological transition and food industry interference in health policies. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 8(9), pp. 746–747. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30269-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30269-2)
- Bendall, C. L., Mayr, H. L., Opie, R. S., Bes-Rastrollo, M., Itsiopoulos, C., & Thomas, C. J. (2018, December 12). Central obesity and the Mediterranean diet: A systematic review of intervention trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, pp. 3070–3084. Taylor and Francis Inc. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1351917>
- Cole, S. A., Butte, N. F., Voruganti, V. S., Cai, G., Haack, K., Kent, J. W., ... Gibbs, R. A. (2010). Evidence that multiple genetic variants of MC4R play a functional role in the regulation of energy expenditure and appetite in Hispanic children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(1), pp. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28514>
- Fairbrother, U., Kidd, E., Malagamuwa, T., & Walley, A. (2018). Genetics of Severe Obesity. *Current Diabetes Reports*, 18(10), 85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11892-018-1053-x>
- Jarvela, T. S., Gahlot, S., Shakya, M., Bachor, T., White, A., Low, M. J., & Lindberg, I. (2019). Reduced stability and pH-dependent activity of a common obesity-linked PCSK1 polymorphism, N221D. *Endocrinology*, 160(11), pp. 2630–2645. DOI: <https://doi.org/10.1210/en.2019-00418>
- Maycotte-Cervantes, M. L., Aguilar-Galarza, A., Anaya-Loyola, M. A., Anzures-Cortes, Ma. de L., Haddad-Talancón, L., Méndez-Rangel, A. S., ... Moreno-Celis, U. (2020). Influence of Single Nucleotide Polymorphisms of ELOVL on Biomarkers of Metabolic Alterations in the Mexican Population. *Nutrients*, 12(11), pp. 3389. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12113389>
- Mayoral, L. P. C., Andrade, G. M., Mayoral, E. P. C., Huerta, T. H., Canseco, S. P., Rodal Canales, F. J., ... Perez-Campos, E. (2020, January 1). Obesity subtypes, related biomarkers & heterogeneity. *The Indian Journal of Medical Research*, 151, pp. 11–21. NLM (Medline). DOI: https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1768_17
- Mohammed, M. S., Sendra, S., Lloret, J., & Bosch, I. (2018). Systems and WBANs for controlling obesity. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018. Hindawi Limited. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/1564748>
- Nordang, G. B. N., Busk, Ø. L., Tveten, K., Hanevik, H. I., Fell, A. K. M., Hjeltnes, J., ... Hertel, J. K. (2017). Next-generation sequencing of the monogenic obesity genes LEP, LEPR, MC4R, PCSK1 and POMC in a Norwegian cohort of patients with morbid obesity and normal weight controls. *Molecular Genetics and Metabolism*, 121(1), pp. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2017.03.007>
- Queiroz, E. M., Cândido, A. P. C., Castro, I. M., Bastos, A. Q. A., Machado-Coelho, G. L. L., & Freitas, R. N. (2015). IGF2, LEPR, POMC, PPARG, and PPARGC1 gene variants are associated with obesity-related risk phenotypes in Brazilian children and adolescents. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 48(7), pp. 595–602. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431x20154155>
- Singh, R. K., Kumar, P., & Mahalingam, K. (2017, February 1). Molecular genetics of human obesity: A comprehensive review. *Comptes Rendus - Biologies*, 340, pp. 87–108. Elsevier Masson SAS. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2016.11.007>
- Zeng, C.-P., Lin, X., Peng, C., Zhou, L., You, H.-M., Shen, J., & Deng, H.-W. (2019). Identification of novel genetic variants for type 2 diabetes, childhood obesity, and their pleiotropic loci. *Journal of Human Genetics*, 64(5), pp. 369–377. DOI: <https://doi.org/10.1038/s10038-019-0577-5>

Con un poco de ayuda: Calidad de los gobiernos locales e impacto económico en México

Carlos Armando Salas Benítez (FCA, UAQ, csalas18@alumnos.uaq.mx)

Dr. Enrique Leonardo Kato Vidal (FCA, UAQ, enriquekato@uaq.mx)

Resumen

La evaluación de la calidad gubernamental en la actualidad permite tanto a los gobiernos estatales como al gobierno federal tener una amplia perspectiva de la situación económica de las zonas gobernadas. El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) revela, a través de su Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG), la percepción ciudadana de diversos problemas que embargan a la sociedad mexicana, como la corrupción, la calidad de los servicios públicos, la eficiencia de las instituciones, entre otros. Esta información es posible complementarla con datos de CONEVAL como el salario, el Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal y el ingreso. Por ello, nace la necesidad de crear una herramienta de análisis objetiva sobre la materia de percepción de corrupción que brinde certeza en la información y permita la elaboración de políticas públicas orientadas a prevenirla en las instituciones públicas. El análisis está basado en el periodo del 2012 al 2019. Mediante una segmentación de los estados del país en cuartiles, según su actividad económica y posición geográfica, será posible realizar los cálculos que evalúen, entre otros factores, la calidad gubernamental, el crecimiento, el salario, la percepción de la corrupción, la pobreza y la actividad económica por entidad federativa.

Palabras clave: corrupción, calidad gubernamental, desarrollo, pobreza, salarios

Abstract

Assessing the quality of current government administration provides both state and federal governments with a broad perspective on the economic situation of administered areas. The government agency in charge of statistics, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), reveals through its survey, Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG), the public perception of various problems that plague Mexican society, such as corruption, quality of public services, efficiency of the institutions, among others that we can compare with data from CONEVAL such as salary, the Quarterly Indicator of State Economic Activity and income. For this reason, the need arises to create an objective analysis tool on the matter of perception of corruption that provides certainty in the information and allows the development of public policies aimed at preventing it in public institutions. The analysis is based on the period from 2012 to 2019. Through a segmentation of the country's states into quartiles, according to their economic activity and geographical position, it will be possible to perform calculations that evaluate, among other factors, government quality, growth, salary, perception of corruption, poverty and economic activity by federal entities.

Keywords: corruption, quality of government, poverty, wages, development

Introducción

El concepto de calidad gubernamental tiene su origen en el sector privado. Fue incorporado en el sector público al demostrarse que los principios empresariales de calidad eran aplicables si se veía al ciudadano como un cliente que busca un servicio por el que indirectamente paga. Desde entonces, en el mundo se han creado diversos mecanismos que permiten evaluar la calidad de gobierno de las naciones con el objetivo de eficientar el sistema de gobernación. Dentro de los más destacables se encuentra el modelo *Quality of Government* de la Unión Europea.

Desde su concepción el Índice de Calidad de Gobierno (Charrón, Lapuente y Annoni 2019) ha tenido un amplio impacto en la investigación sobre la geografía económica de la Unión Europea. El espíritu empresarial y la innovación a nivel subnacional ha sido incluida como parte de múltiples rondas de publicación del Informe sobre Cohesión Económica, Social y Territorial.

En el caso mexicano, durante los últimos tres sexenios estos cambios en la gobernanza democrática han adquirido relevancia central para el gobierno mexicano. Toda vez que es en este periodo donde se implementan de manera sistemática, técnicas gerenciales privadas con una orientación a la satisfacción del ciudadano. Además, se tiene como propósito esencial el involucramiento de la sociedad en la modernización de la gestión pública (INEGI, 2019).

La calidad del gobierno está definida como la capacidad del gobierno para sostener e incrementar el bienestar de la población. Para ello se recurre al diseño, implementación y evaluación de políticas públicas caracterizadas por la imparcialidad y efectividad en un marco libre de corrupción a través de instituciones públicas eficientes.

La literatura económica sugiere que el desarrollo institucional es el factor más profundo que determina al desempeño económico. Incluso rebasa en importancia a la ubicación geográfica y la integración

comercial con el resto del mundo (Acemoglu, Johnson y Robinson, 2005 (Banxico 2020)).

La gran mayoría de los estudios en esta materia han llegado a la conclusión de que en el gobierno la calidad es importante para el desempeño económico y que un gobierno deficiente en áreas rezagadas representa una barrera importante para el desarrollo.

El análisis de la calidad gubernamental se centra en el análisis de variables macroeconómicas como el Producto Interno Bruto, nacional y *per cápita*, la inversión, el crecimiento de la población. Además, se consideran los índices de percepción de la corrupción, la evolución de los servicios públicos, la calidad de la educación, así como la eficiencia en el sistema de salud. Aun cuando los resultados pueden variar según la región del país, esta información permite homologar la información para tener una percepción clara del fenómeno.

En México, cada año aumentan los niveles en la percepción de corrupción en las distintas instancias gubernamentales, el PIB crece anualmente en el periodo estudiado, algunos rubros —como el educativo— se encuentran bien evaluados en distintos ámbitos, como el cumplimiento de los temarios y la gratuidad de la educación.

Nuestro país, a través de INEGI (2019), presenta la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG), la cual permite generar estimaciones con representatividad nacional sobre la calidad de los servicios públicos, trámites, pagos y otros contratos con el gobierno. Así, es posible aportar elementos que ayuden a la toma de decisiones de política pública en materia de calidad en los tres niveles de gobierno.

En México, la aplicación de encuestas con representatividad estadística para medir la calidad de servicios públicos es muy limitada. Por lo que uno de los grandes retos que enfrentan los gobiernos y la administración pública consiste en tener información que permita atender las diversas demandas de la población que día a día se incrementan. Ésto ha dejado de manifiesto la necesidad de realizar y continuar la medición del desempeño como algo

básico para una planeación, programación y control objetivo de la administración pública.

Lo anterior nos permitirá el desarrollo de un modelo simple que permita tener amplia información sobre el tema lo cual a su vez da lugar a un análisis de los diversos puntos donde el gobierno debe poner atención para la mejora de la calidad gubernamental a fin de detonar el desarrollo en las zonas más marginadas de nuestro país, así como el de las grandes zonas metropolitanas. Así mismo esto permitirá contrastar con la estimación de Desempeño Institucional y Económico en las Regiones de México de Banco de México (2020), donde presenta los principales avances y retrocesos registrados por cada entidad federativa en diversos ramos de la participación ciudadana, entre ellos las variables de calidad gubernamental. Dentro de los que destaca:

- Las notables mejoras en el ámbito de desempeño institucional que muestran la mayoría de los estados del centro de México
- Los estados del Norte y Bajío de México cuentan con capacidad de infraestructura instalada e industrial, principalmente de manufactura, que repercute en la calidad de gobierno.
- Además, en la región sur existe el mayor rezago, principalmente en los servicios públicos de agua y drenaje, y su influencia en la calificación de calidad de gobierno.

La información obtenida en Consejo Nacional de la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) acerca de la pobreza y los salarios será contrastable mediante la correlación entre infraestructura, pobreza y desigualdad (Banxico, 2020) donde se presentan los mayores niveles en la región sureste y los mayores avances en el centro norte de México. Es importante comparar los resultados obtenidos con el índice de calidad de las instituciones donde Banco de México (2020) señala que hasta el 2018 la región centro Norte del país es la mejor evaluada en este aspecto superando el promedio nacional.

Objetivo

El objetivo de la investigación es analizar la calidad gubernamental; se tiene como base el índice de Calidad Gubernamental (QoG) para la Unión Europea, a fin de medir las principales variables que evalúa el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) sobre impacto gubernamental. De ese modo, se podrán sugerir algunas áreas de oportunidad que tiene el estado mexicano para mejorar su eficiencia y aumentar el potencial económico de México. Además, se establecen contrastes con el Índice de Desarrollo Democrático de México que elaboró Fundación Konrad Adenauer et al y que presentó Banco de México (2020).

Metodología

Para la realización de un análisis profundo, pero que permita fácilmente procesar la información, se dividieron las entidades federativas en cuartiles estadísticos. Cada uno contiene igual número de datos y comparten entre ellos características económicas quedando de la siguiente manera en la Tabla 1.

Cuartil 1: Tlaxcala (Tlax), Oaxaca (Oax), México (Mex), Chiapas (Chis), Michoacán (Mich), Puebla (Pue), Morelos (Mor), Ciudad de México (CDMX)

Cuartil 2: Jalisco (Jal), Campeche (Cam), San Luis Potosí (SLP), Guerrero (Gro), Guanajuato (Gto), Quintana Roo (Qroo), Veracruz (Ver), Tabasco (Tab).

Cuartil 3: Chihuahua (Chih), Aguascalientes (Ags), Yucatán (Yuc), Tamaulipas (Tams), Hidalgo (Hgo), Querétaro (Qro), Sonora (Son) y Zacatecas (Zac).

Cuartil 4: Colima (Col), Nuevo León (NL), Sinaloa (Sin), Durango (Dgo), Baja California (BC), Coahuila (Coah), Baja California Sur (BCS), Nayarit (Nay).

Tabla 1. Estados de México según Calidad de Gobierno, 2013. Las abreviaturas entre paréntesis se usan en la Gráfica 1. Fuente: Elaboración propia según índice propio de Calidad de Gobierno, con datos de ENCIG 2013, INEGI.

La información obtenida nos permitirá observar la diferencia entre regiones. Las variables estudiadas fueron: el indicador Trimestral de la Actividad Económica (ITAE), que es un índice desestacionalizado con base en el año 2013=100, el cual anticipa la evolución del Producto Interno Bruto. La pobreza laboral está definida como el porcentaje de personas con un ingreso laboral inferior al costo de la canasta básica (CONEVAL, 2019). A través de la estadística presente en la ENCIG, se busca obtener la variable explicativa X para poder cotejarla más adelante con la información que brinda CONEVAL y obtener de ella la variable explicada que en nuestra nomenclatura será Y .

Las fuentes de información fueron cuatro: (1) El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática a través de su Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental de donde se obtiene en general todas las variables de estudio. Especialmente las de percepción de la corrupción en distintas áreas del gobierno: policías, instituciones educativas, institutos electorales y hospitales; (2) el Consejo Nacional de la Política de Desarrollo Social de donde se obtuvo la información necesaria para evaluar la pobreza, el salario, el índice ITAE y el ingreso, (3) El modelo Quality of Government (Charrón, et al, 2019) para la Unión Europea, a fin de obtener las variables necesarias para replicar el modelo en el caso mexicano y (4) el índice de Desempeño Institucional y económico en las regiones de México que presenta Banco de México 2020

Resultados

Una vez construido un modelo de calidad gubernamental para el contexto mexicano con base en las variables disponibles que se evalúan en nuestro país, se obtuvieron los siguientes resultados. A partir de la información donde se discute el tema, como calidad de gobierno, es preciso que en el caso mexicano sea utilizado el término del Percepción de la Calidad Gubernamental, dado que nuestra investigación se basa en los resultados de la ENCIG, donde se pregunta a los ciudadanos las percepciones de corrupción en su estado.

A pesar de que el concepto de calidad es difícil por generar polémica, al no ser una unidad de medida, es un término apropiado para el tema que se aborda. Dado que nos referimos a calidad cuando hablamos de lo que el cliente espera de quien le provee. En este caso, los ciudadanos reciben de los gobiernos un servicio. Un gobierno de calidad será sin duda aquel que los ciudadanos respalden.

Para construir el índice tomamos como base el modelo europeo. Sin embargo, es necesario invertir las escalas para medir la calidad gubernamental. Para el caso de la corrupción usaremos la siguiente lógica: Más corrupción = Mal gobierno. Al invertir la escala de corrupción, se puede interpretar en sentido positivo: A menor corrupción = Más calidad de gobierno.

Para combinar las variables de un índice o pilar debe verificarse si tienen correlación, o consistencia interna, a través del cálculo del alfa Cronbach. Dado lo anterior, tenemos cuatro índices; el segundo que pertenece a experiencia de corrupción tiene dos variables, el resultado de promediar dichas variables no genera un resultado alto. Por lo tanto, el índice de calidad de gobierno solo tendrá tres pilares.

Por año el alfa de Cronbach del componente *Percepción de la corrupción* en el año 2013 fue de 0.39 y en el 2019 fue de 0.63. Esta información fue añadida al componente de experiencia de corrupción, a través de un promedio simple, lo cual es la manera más sencilla de agregar una cifra.

El alfa de Cronbach, tanto en 2013 como 2019, fue de 0.8, es decir fue bueno. Para la obtención de este resultado fueron utilizadas las siguientes variables: No experiencia de haber escuchado actos de corrupción; No haber experimentado actos de corrupción; No corrupción (muy frecuente) en la entidad federativa en una escala de 100 %; No corrupción en policías; No corrupción en hospitales; No corrupción en educación básica; No corrupción en institutos electorales.

Complementariamente, en la ENCIG de 2019 se encontró que el 48 %, es decir, cerca de la mitad de los usuarios de servicios públicos enfrentaron algún tipo de problema al realizar sus trámites. De esos problemas, 85 % fueron barreras al trámite, dentro de las cuales se incluyen largas filas, requisitos excesivos, el que lo pasaran de una ventanilla a otra o el que tuviera que ir a lugares distintos, que ocasionaron que el ciudadano evalúe mal a las instituciones gubernamentales. Los resultados se muestran en las figuras 1 y 2.

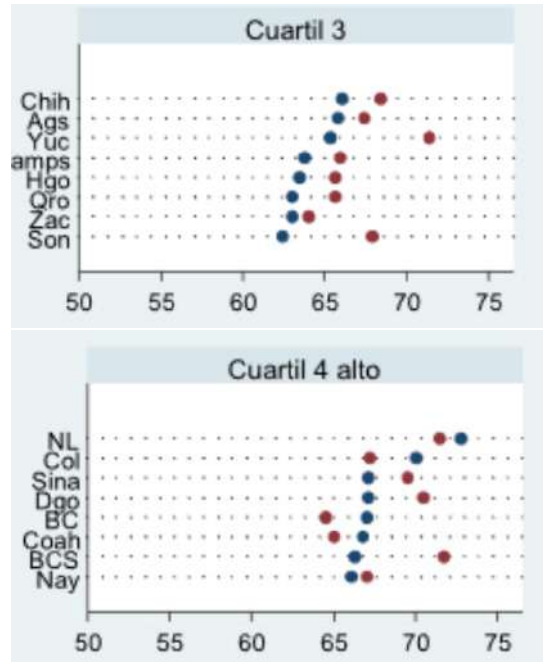
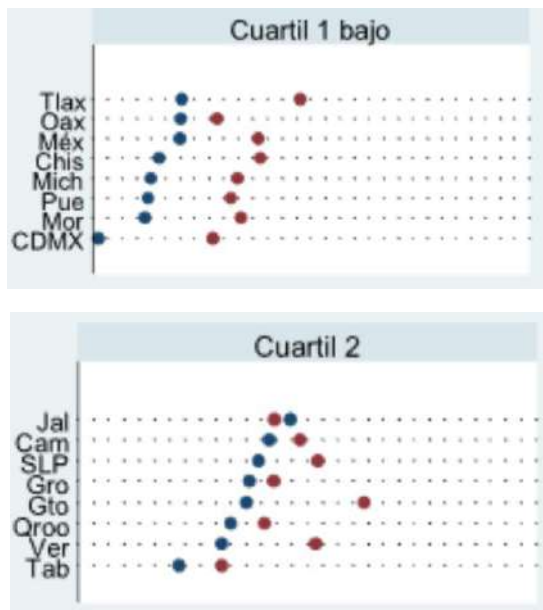


Figura 1. Estados por cuartiles Calidad Gubernamental. Los puntos señalados de color azul corresponden al periodo 2013 y los puntos de color al 2019. Fuente: elaboración propia con datos de ENCIG-INEGI (2013 y 2019).

El tercer componente evaluado fue *Imparcialidad*, en el modelo mexicano corresponde a *Confianza en las instituciones*, para este rubro la ENCIG otorga información del periodo 2017 y 2019, la variable es medida en una escala de 0 a 100 según la confianza que los adultos tienen en las siguientes instituciones gubernamentales: Universidades públicas, Escuelas públicas de nivel básico, Hospitales públicos, Medios de comunicación, institutos electorales y policías. El alfa de Cronbach en 2017 y 2019 es cercano a 0.88, es decir, muy alto.

El último pilar que evalúa nuestro modelo es la calidad gubernamental, mide el grado de satisfacción de las personas usuarias de Educación pública básica, Educación pública universitaria, Salud estatal y Policía. El alfa de Cronbach en 2013 fue 0.79 y en 2019 de 0.87.

Una vez teniendo los tres componentes: Calidad, Confiabilidad y No corrupción, el siguiente paso fue la construcción del Índice de Percepción de la Calidad

de Gobierno, el cual es un promedio simple de los tres componentes (ver Tabla 2).

	ITAE		TCMA
	2014	2018	
Cuartil 1 bajo	102.9	108.1	1.2%
Cuartil 2	102.5	113.0	2.5%
Cuartil 3	103.4	119.9	3.8%
Cuartil 4 alto	102.1	116.5	3.4%
Total	102.7	114.4	2.7%

Tabla 2. Indicador Trimestral de la actividad económica estatal. Nota. TCMA = Tasa de Crecimiento promedio anual. Fuente: Elaboración Propia con datos del Sistema de Cuentas Nacionales de México, INEGI (2014 y 2018).

Para su cálculo se utilizaron cuartiles, cada uno con ocho entidades federativas, agrupadas según la variable *Percepción de calidad de gobierno en el 2013* para a partir de ello comparar nuestros resultados con el índice de Desarrollo Democrático de México para el año 2020, el cual presenta los informes por región y por estado. En esta investigación se trabajan dos datos en el tiempo (2013 y 2019) mientras que Banxico (2020) trabaja sólo con 2019. A continuación, se presentan los resultados de manera gráfica en la Figura 2.

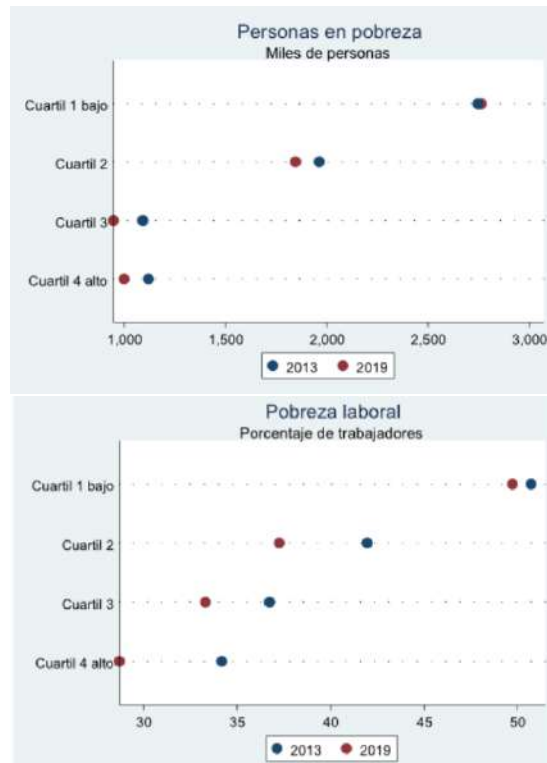
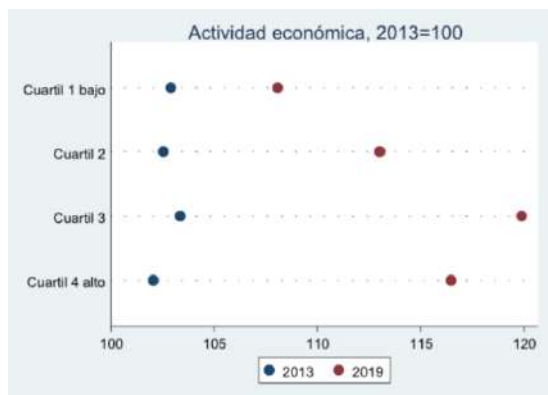


Figura 2. Actividad Económica por cuartiles. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y CONEVAL.

En el cuartil uno los puntos son bajos respecto al dos, tres y cuatro se van desplazando a la derecha. Los cuartiles uno, dos y tres, en general, tienen datos superiores en el año 2019 que, en el 2013. Ésto a diferencia del cuartil número cuatro, donde sólo algunos estados aumentaron su percepción en la calidad de gobierno. Posteriormente se evalúa la pobreza, la pobreza laboral, la actividad económica y el índice Trimestral de la Actividad económica.

Los cuartiles uno y dos son los que tienen mayor nivel o porcentaje de pobreza. En general, la pobreza en el 2019 es menor a la del año 2013. En los cuartiles uno y dos, los que tienen menor percepción de calidad de gobierno, es en donde se observa el menor crecimiento, esto es la distancia entre 2013 y 2019. En los cuartiles altos tres y cuatro hay mayor crecimiento que en los cuartiles inferiores. Se destacan, Querétaro, Hidalgo y Baja California Sur como los estados que mejor evaluados se encuentran en los últimos años.

Sin embargo, no es una relación directa (monotónica), esto es, más percepción de calidad de gobierno igual a más crecimiento, menor pobreza y una mayor calidad de vida para los ciudadanos.

Discusión y conclusiones

La falta de calidad de los gobiernos locales puede tener repercusiones en el ámbito económico. Por ello es preciso el estudio de estos temas que permiten a las autoridades gubernamentales conocer las áreas donde pueden mejorar.

Hablamos de calidad gubernamental cuando hacemos referencia a la capacidad del gobierno para sostener e incrementar el bienestar de la población, para lo cual se ayuda del diseño, implementación y evaluación de políticas públicas imparciales y efectivas libres de corrupción.

Es importante decir que el alfa de Cronbach que mide la consistencia interna fue alto, con un valor de 0.8 tanto en 2013 como en 2019. Al segmentar en cuartiles como estrategia para procesar la información, se tuvieron resultados predecibles: la mayoría de los estados, no todos, han aumentado su calidad de gobierno. En general en todo el país y la pobreza ha disminuido. Podemos concluir en que la actividad económica no depende sólo de la variable de calidad gubernamental, sino también de la especialización de los estados en diversas actividades económicas, como el turismo y la actividad industrial además de la infraestructura requerida para la colocación de empresas.

Al comparar nuestros resultados con el índice de Desarrollo Democrático de México (Banco de México, 2020) podemos darnos cuenta de que en efecto la mayoría de los estados anualmente mejoran su calidad institucional, pues tiene los primeros lugares aquellos donde existen altos niveles de industria, inversión y se especializan en diversas áreas de la actividad económica. Al comparar el estudio con el informe de Banxico podemos notar cómo los resultados presentados coinciden con los nuestros

donde los niveles altos de desarrollo económico se encuentran en la región norte de México, las zonas metropolitanas y el Bajío.

En cambio, los estados del sureste son los más atrasados en cuestión de desarrollo, tienen los índices más altos de pobreza, los salarios más bajos y los más altos índices en percepción de la corrupción. Sin embargo, es válido rescatar que tienen avances comparados con el 2013. La Ciudad de México fue la única que disminuyó su puntuación en el índice de democratización de Banxico.

Se ha documentado en la literatura una relación positiva y estadísticamente significativa entre la infraestructura y el crecimiento económico, ya que una mayor disponibilidad de infraestructura contribuye a aumentar la productividad total de los factores y el crecimiento económico.

Johnston (2005) sostiene que el control de la corrupción requiere de un conocimiento detallado de los incentivos y limitaciones de funcionarios o de la ciudadanía, es decir, es necesario saber cuáles fueron las motivaciones personales de ambos actores que participan en un cohecho. Por esa razón, en vez de intentar medir la corrupción de forma directa, sería conveniente realizar la medición a través de incentivos y efectos. Es muy importante continuar la investigación de estos temas significativos para la planeación de las políticas públicas y planes de desarrollo. Se podría esperar que el estudio de este tema conduzca a los gobiernos a la buena toma de decisiones que propicien el crecimiento y el desarrollo económicos, el buen gobierno, la transparencia y la rendición de cuentas. En mayo de 2022 podremos conocer el avance en la percepción de la corrupción, ya que INEGI publicará la nueva edición de la ENCIG. Además, podremos identificar qué efecto tuvo la pandemia de Covid-19 en los indicadores.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Querétaro por la oportunidad de participar en el XXIII Verano de Introducción a la Ciencia 2021 y en el 9º Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Querétaro. Asimismo, agradecemos a nuestro investigador anfitrión por el apoyo recibido durante el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

- Banco de México. (2021). Reporte sobre las economías regionales. México: Banxico.
- Banco de México (2020). Desempeño Institucional y económico en las regiones de México. En *Reporte sobre las Economías Regionales Abril-junio 2018*, México, pp. 5-7.
- Barbero, J., Mandras, G., Rodríguez-Crespo E., Rodríguez-Pose A. (2021) Quality of government and regional trade: evidence from European Union regions. *Regional Studies* 55 (7), pp. 1240-1251
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2019). Evolución de la pobreza y pobreza extrema nacional y en entidades federativas [Datos] México: CONEVAL.
- Charron, N, Lapuente, V, Annoni, P. (2019) Measuring quality of government in EU regions across space and time. *Pap Reg Sci.*; 98: pp. 1925–1953. DOI: <https://doi.org/10.1111/pirs.12437>
- Fundación Konrad Adenauer, Polilat, CEPOS y USEM. (2020). Índice de Desarrollo Democrático de México. 12/10/2021, Fundación Konrad Adenauer. Recuperado de: <https://www.ieepco.org.mx/archivos/documentos/2021/IDDM EX2020.pdf>
- Kato Vidal, E. (2021). La gobernanza de un México más metropolitano. *Sistema de Información Ciudadana*. Recuperado de: <https://sicmx.org/2021/05/11/la-gobernanza-de-un-mexico-mas-metropolitano/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía. (2019). Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental [Datos]. INEGI. México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/encig/>
- Jhonston, M., Es posible medir la corrupción, ¿pero podemos medir la reforma? *Revista Mexicana de Sociología*, 2. Recuperado de:

Análisis de la radiación del fondo cósmico de microondas usando modelos cosmológicos

Autor: Durán-Martínez Samuel^{1*}

Asesor: Hernández-Almada Alberto^{1**}

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería - Campus Aeropuerto, C.P. 76140, Querétaro, Qro.

*sduran26@alumnos.uaq.mx

**ahalmada@uaq.mx

RESUMEN

En este trabajo, se presentan ajustes numéricos en parámetros de dos modelos cosmológicos de energía oscura con los objetivos de aproximar los datos observados al modelo y estudiar la curva de anisotropía del fondo cósmico de microondas para analizar el cambio en los picos del espectro. Los datos observados son mediciones directas del parámetro de Hubble con muestras obtenidas por oscilaciones acústicas de bariones; lo anterior se implementa en el código CLASS cuyo objetivo principal es el análisis del espectro de radiación angular del fondo cósmico de microondas a partir de los datos del satélite Planck 2015-2018. Los cambios presentados en los picos de la curva se relacionan directamente con la cantidad de materia contenida en el universo y el parámetro de expansión de Hubble. Por último, la estimación resulta ser una primera aproximación que visualiza los cambios en la curva del espectro del fondo cósmico.

Palabras clave: Modelos cosmológicos, fondo cósmico de microondas, materia oscura.

ABSTRACT

In this work, numerical adjustments in parameters of two cosmological dark energy models are presented with the objectives of approximating the observed data to the model and studying the anisotropy curve of the cosmic microwave background to analyze the change in the peaks of the spectrum. The observed data are direct measurements of the Hubble parameter with samples obtained by baryon acoustic oscillations; the above is implemented in the CLASS code whose main objective is the analysis of the angular radiation spectrum of the cosmic microwave background from the Planck 2015-2018 satellite data. The changes presented in the peaks of the curve are directly related to the amount of matter contained in the universe and the Hubble expansion parameter. Finally, the estimate turns out to be a first approximation that visualizes the changes in the cosmic background spectrum curve.

Keywords: Cosmological models, cosmic microwave background, dark matter.

INTRODUCCIÓN

Una evidencia observacional muy importante en cosmología es que todo el universo parece alejarse de nosotros y entre más lejos esté el objeto más rápido parece alejarse (Riess et al., 1998). Dicha velocidad es medida en función del corrimiento al rojo y se estudia bajo una solución de las ecuaciones de campo de la relatividad general conocida como la ecuación de Friedmann (Liddle, 2015). Esta ecuación es la más importante en la cosmología ya que describe la expansión acelerada del universo (Matos, 2003) y se plantea bajo la combinación de la homogeneidad e isotropía del universo junto al principio cosmológico.

Históricamente, la ecuación de Friedmann se derivó a partir de las ecuaciones de la relatividad general cuya ecuación de campo es dada por:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (1)$$

Donde $G_{\mu\nu}$ es conocido como el tensor de Einstein que contiene implícitamente el tensor de Ricci ($R_{\nu\mu}$), el escalar de Ricci (R) y el tensor métrico ($g_{\nu\mu}$). Por otra parte, del lado izquierdo de la igualdad, se encuentra la constante de gravitación universal G y el tensor de energía-momento ($T_{\nu\mu}$) (Motta et al., 2021), dichos componentes contienen información como la métrica, densidad, presión, velocidades del medio (Dodelson, 2003) para así plantear la ecuación de Friedmann adimensional dada por:

$$E(z)^2 = \left(\frac{H(z)}{H_0}\right)^2 = \sum_i \Omega(z)_i \quad (2)$$

donde $\Omega(z)_i$ se conoce como el parámetro de densidad en función del corrimiento al rojo. Actualmente, se ha propuesto distintos modelos con base en la ecuación de Friedmann para poder explicar la curva de expansión del universo con distintas hipótesis respecto al contenido del universo y así ajustar los datos observados a los modelos teóricos planteados (Matos, 2008). Una de estas hipótesis es la existencia de la materia oscura, la cual se caracteriza por no emitir luz ni interactuar con la materia bariónica, además, no tiene carga por lo que no puede radiar energía, y, al no detectar una temperatura T , se considera que es fría. Este tipo de materia se sustenta en la observación de la radiación del fondo de microondas descrita por un espectro de fluctuaciones de radiación cuyos picos describen el contenido total de materia del universo. Dentro del espectro, destacan tres picos principales: el primero muestra que el universo es geoméricamente plano; el segundo pico representa que la materia ordinaria abarca el 5 % de toda la materia y energía del universo, y, por último, el tercero muestra que el 26 % del universo consiste en materia oscura (Matos, 2003).

Las anisotropías de temperatura del fondo cósmico de microondas han revolucionado y seguirán revolucionando la comprensión de la cosmología. El descubrimiento de los picos acústicos previamente predichos en el espectro de potencia ha establecido un modelo cosmológico funcional con densidad crítica que consta principalmente de materia y energía cuyas estructuras se formaron a través de la inestabilidad gravitacional y de las fluctuaciones cuánticas durante una época inflacionaria. La fenomenología y las implicaciones cosmológicas de los picos acústicos presentan oportunidades para estudiar la inflación y energía oscura (Hu & Dodelson, 2002), por lo que este artículo tiene como objetivo principal estudiarlos mediante ajustes a los

parámetros de los modelos de energía oscura Λ CDM y ω CDM usando mediciones del parámetro de Hubble y compararlos con los datos Planck 2015-2018.

METODOLOGÍA

Para estudiar la expansión del universo con el uso de modelos cosmológicos y la radiación del fondo cósmico de microondas, es necesario usar datos observacionales obtenidos por el satélite Planck y por mediciones directas del parámetro de Hubble (Magaña et al., 2018). La principal herramienta a utilizar es el lenguaje de programación Python en el cual se analizará los parámetros de los modelos cosmológicos con la librería *iminuit* (Dembinski & Ongmongkolkul, 2020) desarrollada en el CERN, la cual resulta de ayuda al ajustar los datos con métodos de minimización de funciones y estimación de error en parámetros. Por otro lado, para estudiar CMB es necesario usar un código llamado CLASS (Lesgourgues, 2019), cuyo propósito es simular la evolución de perturbaciones lineales en el universo y calcular los observables de estructura a gran escala.

a) Análisis de modelos cosmológicos

Espacialmente para un universo tipo FRW (métrica de Friedmann-Lemaître-Robertson Walker) (Weinberg, 1972), los modelos de energía oscura a partir de la ecuación de Friedmann toman la forma (Xu & Zhang, 2016):

$$E(z)^2 = \left(\frac{H(z)}{H_0} \right)^2 \quad (3)$$

$$= \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_r(1+z)^4 + (1 - \Omega_r - \Omega_m)f(z)$$

donde $f(z)$ es una función que contiene los diferentes parámetros de cada modelo de energía oscura. Para el modelo Λ CDM se tiene la función:

$$E(z)^2 = \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_r(1+z)^4 + (1 - \Omega_r - \Omega_m) \quad (4)$$

Y para el modelo ω CDM se tiene:

$$E(z)^2 = \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_r(1+z)^4 + (1 - \Omega_r - \Omega_m)(1+z)^{3(1+\omega)} \quad (5)$$

b) Ajuste de datos

Mediante el uso de *iminuit* se realiza una aproximación a los parámetros de los modelos cosmológicos Λ CDM y ω CDM ajustando los datos obtenidos (Magaña et al., 2018) con la ecuación de Friedmann de cada modelo (Xu & Zhang, 2016).

Estos datos son una compilación de observaciones al parámetro de Hubble (ODH) y consiste en 51 mediciones en un rango al corrimiento al rojo de $0.07 < z < 2.36$; de la muestra total, 31 muestras fueron obtenidas a través del método de edad diferencial (Jimenez & Loeb, 2002). Esta técnica compara las edades de las galaxias de tipo temprano con un diferencial de distancia Δz y bajo la ecuación:

$$H(z) = -\frac{1}{(1+z)} \frac{dz}{dt} \quad (6)$$

Por otra parte, las 20 muestras restantes fueron obtenidas mediante oscilaciones acústicas de bariones, las cuales son obtenidas mediante:

$$H(z)_{true} = \frac{r_{BAO}}{r_{WMAP}} H(z)_{ref} \quad (7)$$

donde $H(z)_{ref}$ es el modelo de referencia con el cual se estima la escala aparente de las oscilaciones acústicas de bariones r_{BAO} , y r_{WMAP} es la escala acústica inmovilizada obtenida de la radiación de fondo cósmico de microondas (Gaztañaga, Cabré, & Hui, 2009).

Se usa la estadística χ^2 para ajustar cada modelo cosmológico cuya función es definida por:

$$\chi^2 = \frac{\xi_{th} - \xi_{obs}}{\sigma_{\xi}^2} \quad (8)$$

Donde ξ_{obs} son los datos experimentales, ξ_{th} son los valores teóricos del modelo y σ_{ξ}^2 es la desviación estándar. Esta función está presente en los distintos tipos de datos por lo que funciona como una superposición

$$\chi^2 = \sum_{\xi} \chi_{\xi}^2 = \chi_{BAO}^2 + \chi_{H_0}^2 \quad (9)$$

c) Modificación del código CLASS

Una vez obtenido el ajuste de los parámetros h , ω y Ω_m los compararemos con los datos Planck 2015 y Planck 2018 en el código CLASS. Dentro de este código sustituimos los valores h , ω y Ω_m ; además, ajustamos los porcentajes de materia bariónica y materia oscura respecto al parámetro Ω_m de tal forma que sea consistente con las investigaciones actuales, las cuales señalan un 5 % de materia bariónica en el universo (Xu & Zhang, 2016). Una vez sustituidos los parámetros, se analizarán las principales diferencias en la curva para estudiar su comportamiento.

RESULTADOS

El ajuste de los datos cosmológicos (Magaña et al., 2018) al modelo teórico está representado por una curva de expansión que se observa en la Figura 1 y describe una minimización de los parámetros de cada modelo. Es importante mencionar que para el modelo Λ CDM solo hay dos parámetros en la ecuación de Friedmann los cuales son implícitamente h y Ω_m correspondientes al parámetro de Hubble relacionado a la tasa de expansión del universo y al parámetro de densidad. Para el modelo ω CDM los parámetros son h , ω y Ω_m siendo ω un parámetro representado con una constante en el modelo.

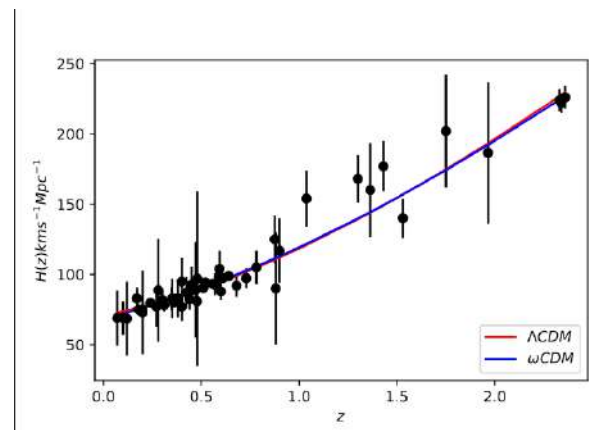


Figura 1. Ajuste a la curva de expansión de la función $H(z)$ para los modelos Λ CDM y ω CDM. Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de los modelos se correlacionan entre sí por lo que pueden tener distintos posibles valores y se representan mediante contornos de verosimilitud con rangos de confianza de 1σ - 3σ . En la Figura 2, se presenta el contorno para el modelo Λ CDM cuyos parámetros fueron $\Omega_m = 0.2576$ y $h = 0.7071$.

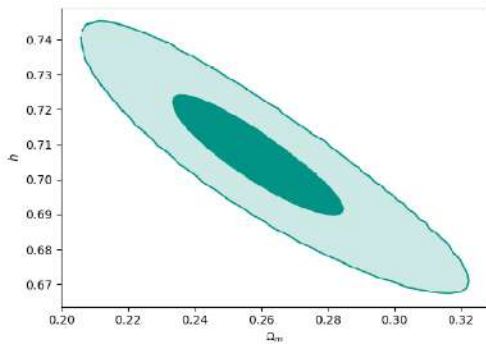


Figura 2. Contornos de confianza del 68.3% y 99.9% para los parámetros $\Omega_m - h$ del modelo Λ CDM. Fuente: Elaboración propia.

Para el modelo ω CDM al tener tres parámetros, entonces se obtuvieron dos contornos representados en la Figura 3 y los valores fueron $\Omega_m = 0.2599$, $h = 0.6811$ y $\omega = -0.86$ respectivamente.

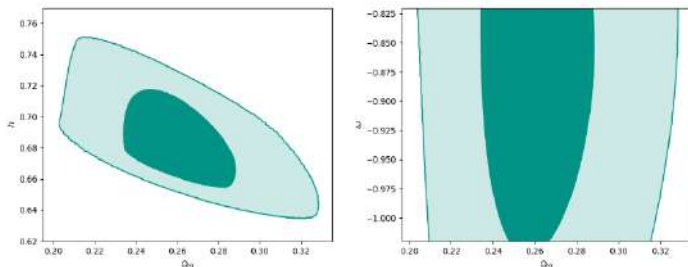


Figura 3. Contornos de confianza del 68.3% y 99.9% para los parámetros $\Omega_m - h$ (izquierda) y $\Omega_m - \omega$ (derecha) del modelo ω CDM. Fuente: Elaboración propia.

Al cambiar el parámetro h , se puede observar en la Figura 4 y 5 que las curvas se desplazan a la izquierda o a la derecha; por otra parte, la curva que se obtuvo con los parámetros ajustados mediante iminuit cambian significativamente en la altura del pico principal respecto a los que se obtienen de los datos del satélite Planck. En los espectros, se encuentra implícitamente el cambio en el parámetro Ω_m , por lo que, mediante el ajuste de los parámetros, se obtuvo un total de 25.7651 % de materia existente en el universo para el modelo Λ CDM y de 25.99 % para el modelo ω CDM, en ambos modelos se definió

5 % de materia bariónica y el resto como materia oscura. Por tanto, a diferencia de los datos del satélite Planck (donde hay 5 % de materia bariónica y 24 % de materia oscura) los cambios más significativos se encuentran en los primeros tres picos. En el primero, se deduce que hay una variación pequeña en la geometría plana del universo debido al cambio de la altura del pico. Por otro lado, el segundo pico representa la cantidad de materia ordinaria o bariónica del universo; por último, el tercero define el porcentaje de materia oscura, por lo que al estar desplazada la gráfica a la derecha respecto a los datos Planck se comprueba la variación en la materia calculada en el ajuste. Dicho esto, el cambio representa una variación en el momento multipolar del espectro de radiación angular.

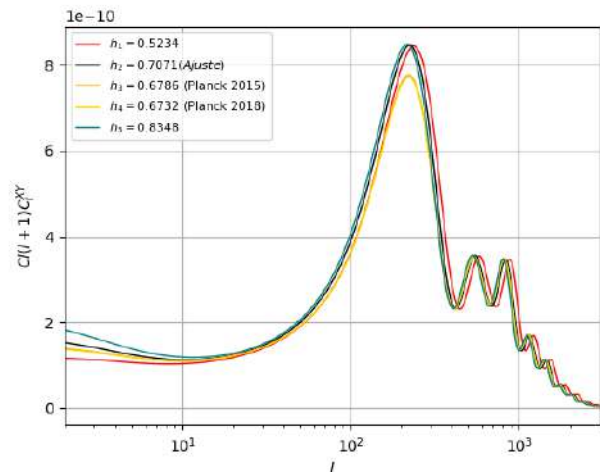


Figura 4. Curva de anisotropía del fondo cósmico de microondas con distintos valores de h para el modelo Λ CDM. Fuente: Elaboración propia.

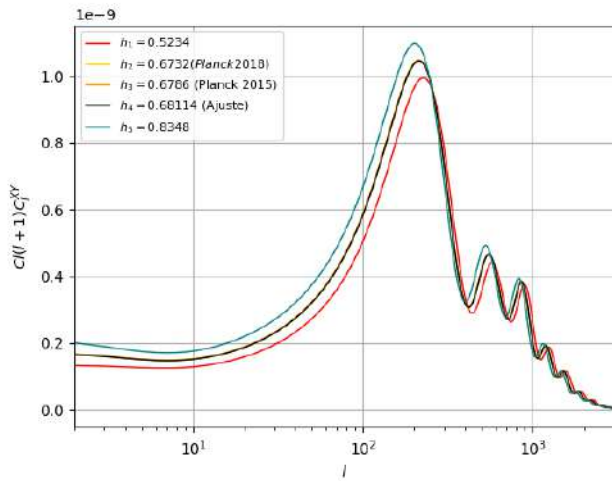


Figura 5. Curva de anisotropía del fondo cósmico de microondas con distintos valores de h para el modelo ω CDM. Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este proyecto, se ajustaron los parámetros que contienen dos modelos cosmológicos para observar un cambio en la curva de anisotropía del fondo cósmico de microondas. Dichos ajustes hacen que la curva del fondo cósmico se vea desplazada cambiando los tres picos principales, los cuales representan la geometría y materia del universo respectivamente. Este desplazamiento se debe al cambio simultáneo entre la materia y el parámetro de Hubble h , los cuales sugieren una variación en el momento multipolar del espectro de radiación angular, que resulta ser es una variación en la forma de medir este espectro relacionado a la temperatura.

La aproximación a los modelos Λ CDM y ω CDM es efectiva ya que el costo computacional es mínimo por el uso de una computadora ordinaria y los segundos que tomó en compilar. Lo anterior es importante ya que podría servir para realizar primeras aproximaciones con otros modelos cosmológicos para descartar anomalías antes de llevar el análisis en el centro de investigación usando el cómputo de alto desempeño, donde los tiempos de

compilación son prolongados y así poder ahorrar recursos.

REFERENCIAS

- Dembinski, H., & Ongmongkolkul, P. (2020). scikit-hep/iminuit. Zenodo. doi:10.5281/zenodo.4310361
- Dodelson, S. (2003). *Modern cosmology*. Elsevier.
- Gaztañaga, E., Cabré, A., & Hui, L. (2009). Clustering of luminous red galaxies – IV. Baryon acoustic peak in the line-of-sight direction and a direct measurement of $H(z)$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399(3), 1663-1680. doi:10.1111/j.1365-2966.2009.15405.x
- Hu, W., & Dodelson, S. (2002). Cosmic microwave background anisotropies. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40(1), 171-216. doi:arXiv:astro-ph/0110414
- Jimenez, R., & Loeb, A. (2002). Constraining Cosmological Parameters Based on Relative Galaxy Ages. *American Astronomical Society*, 573(1), 37-42. doi:10.1086/340549
- Lesgourgues, J. (2019). *CLASS (the Cosmic Linear Anisotropy Solving System)*. Obtenido de https://lesgourg.github.io/class_public/class.html
- Liddle, A. (2015). *An Introduction to Modern Cosmology*. England: John Wiley & Sons.
- Magaña, J., Amante, M., Miguel, G.-A., & Motta, V. (2018). The Cardassian expansion revisited: constraints from updated Hubble parameter measurements and type Ia supernova data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 476(1), 1036-1049.
- Matos, T. (2003). Formación de la estructura del universo. *Revista Mexicana de Física*, 49, 16-25.
- Matos, T. (2008). La materia oscura del universo: retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Física*, 54, 193-202.
- Motta, V., García-Aspeitia, M. A., Hernández-Almada, A., Magaña, J., & Verdugo, T. (2021). Taxonomy of Dark Energy Models. *Universe*, 7(6), 163. doi:arXiv:2104.04642
- Riess, A. G., Filippenko, A. V., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Garnavich, P. M., & ... & Tonry, J. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. *The Astronomical Journal*.
- Weinberg, S. (1972). *Gravitation and cosmology: principles and applications of the general theory of Relativity*. New York: John Wiley & Sons.
- Xu, Y.-Y., & Zhang, X. (2016). Comparison of dark energy models after Planck 2015. *The European Physical Journal C*, 76, 1-15. doi:https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-016-4446-5

La disminución de antocianinas no explica la reversión de color en zarzamora

Ángel R. Flores Sosa^a, Diana Soto Magaña^a, Luis E. González de la Vara^b, Lino Sánchez Segura^c, Moustapha Bah^d, Dulce M. Rivera Pastrana^a, Gerardo M. Nava^a, Edmundo M. Mercado Silva^{a,*}

^aDepartamento de Investigación y Posgrado de Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario S/N, Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, México.

^bDepartamento de Biotecnología y Bioquímica, Unidad Irapuato, CINVESTAV-Irapuato, Libramiento Norte Carr, Irapuato-León Km 96, Irapuato, Guanajuato, México.

^cDepartamento de Ingeniería Genética, Unidad Irapuato, CINVESTAV-Irapuato, Libramiento Norte Carr, Irapuato-León Km 96, Irapuato, Guanajuato, México.

^dPosgrado en Ciencias Químico Biológicas, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario S/N, Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, México.

*Autor de correspondencia: mercado501120@gmail.com

Resumen

La reversión de color (RC) en zarzamora es un desorden fisiológico en el cual las drupas del fruto cambian de color negro a rojo. El mecanismo por el cual se genera este cambio de color se desconoce; sin embargo, su presencia se ha asociado con la vibración (10 Hz y aceleración de 0.5 g) que ocurre durante el transporte y con una disminución en el contenido de antocianinas (56–63 %). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue establecer un modelo de vibración para evaluar la relación entre el contenido de antocianinas y la RC. Las cajas de zarzamora cv. APF-122 (170 g) se sometieron a una vibración (10 Hz y aceleración de 0.5 g) durante 1, 3 y 5 min para inducir la RC. El color y el contenido de antocianinas se evaluó a las 0, 24, 48, 72, 96 y 120 h del almacenamiento a 1°C. La RC se observó inmediatamente después de someter los frutos a 5 min de vibración; no obstante, no se observaron cambios en el contenido de antocianinas en las primeras 72 h de almacenamiento. Se observó que, en los frutos con RC, se presenta ruptura de aglomerados de antocianinas y disminución de la intensidad de fluorescencia, lo cual sugiere pérdida de interacciones intermoleculares. Los datos obtenidos demostraron que la disminución del contenido de antocianinas no explica la RC, pero el cambio de color podría explicarse por la pérdida de integridad de los aglomerados de antocianinas y nuevas interacciones intermoleculares.

Palabras clave: reversión de color, fruto de zarzamora, contenido de antocianinas, aglomerado de antocianinas

Abstract

Color reversion (CR) in blackberry is a physiological disorder in which the fruit drupes change from black to red. The mechanism by which this color change is generated is unknown; however, its presence has been associated with the vibration (10 Hz and 0.5 g acceleration) that occurs during transport and with a decrease in anthocyanin content (56–63 %). Therefore, the objective of this study was to establish a vibration model to evaluate the relationship between anthocyanin content and CR. Blackberry boxes cv. APF-122 (170 g) were subjected to vibration (10 Hz and 0.5 g acceleration) for 1, 3 and 5 min to induce CR. Color and anthocyanin content were evaluated at 0, 24, 48, 72, 96 and 120 h after storage at 1°C. CR was observed immediately after subjecting the fruits to 5 min of vibration; however, no changes in anthocyanin content were observed in the first 72 h of storage. It was observed that, in fruits with CR, there was a breakdown of anthocyanin agglomerates and a decrease in fluorescence intensity, suggesting a loss of intermolecular interactions. The data obtained showed that the decrease in anthocyanin content does not explain CR, but the color change could be explained by the loss of integrity of anthocyanin agglomerates and new intermolecular interactions.

Keywords: Color Reversion, blackberry fruit, anthocyanin content, anthocyanin agglomerates

Introducción

La zarzamora es un fruto agregado conformado de numerosas drupas unidas a un receptáculo. Durante el proceso de maduración en la planta, la zarzamora cambia gradualmente de color: de verde a rojo y finalmente a negro. La cosecha de la zarzamora se realiza cuando sus drupas son completamente negras, pero en el proceso de transporte y almacenamiento, algunas drupas cambian a color rojo; este fenómeno se conoce como reversión de color (RC) (Edgley, Close, Measham, & Nichols, 2019) y su presencia provoca el rechazo del fruto en los mercados de exportación (Edgley, Close & Measham, 2020).

El mecanismo químico o bioquímico que genera el cambio de color característico de la RC se desconoce; pero algunos estudios han sugerido que la disminución en el contenido de antocianinas podría relacionarse con la presencia de este fenómeno (Edgley et al., 2020; Edgley et al., 2019; Kim et al., 2019); por ejemplo, en la RC inducida por el almacenamiento a baja temperatura por 1 o 7 días, se ha reportado reducción entre el 50 y 60 % del contenido de antocianinas en variedades Apache, Ouachita, y Triple Crown (Edgley et al., 2019; Kim et al., 2019). También, se ha sugerido que esta disminución de antocianinas podría generarse por el daño mecánico que se presenta durante el transporte (Edgley et al., 2020; Pérez Pérez et al., 2016).

La vibración es considerada una de las causas de daño mecánico más importantes que se genera durante el transporte (Fernando, Fei & Stanley, 2019) y se ha asociado con la presencia de RC en zarzamora (Gil & Beaudry, 2020). Recientemente se ha reportado que los niveles de vibración (10 Hz y aceleración de 0.5 g) alcanzados durante la comercialización de la fruta podrían inducir daño mecánico y RC en zarzamora cv. Tupi (Pérez Pérez et al., 2016). Estos estudios soportan la hipótesis que la RC podría estar relacionada con el daño de la fruta y cambios en el contenido de

antocianinas. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue establecer un modelo de vibración para evaluar la relación entre el contenido de antocianinas y la RC.

Metodología

Material biológico

Los frutos de zarzamora (*Rubus* spp. cv APF-122) fueron obtenidos de un empaque comercial ubicado en Guanajuato, México (20°40'18" N, 101°20'48" O). Frutos completamente maduros de color negro brillante fueron transportados al laboratorio de fisiología y bioquímica poscosecha de la UAQ. Se seleccionaron aquellos que no presentaban defectos visuales y se almacenaron a 1 °C y 95 % de humedad relativa por 24 h.

Modelo de laboratorio para inducir la RC

Las cajas de zarzamora se colocaron un sistema simulador de vibración integrado por un módulo generador de señal DDS, un osciloscopio DS0138 y un materializador de señal (Subwoofer, POWER12). La vibración se realizó a una frecuencia entre 10 y 15 Hz con una aceleración de 0.5 g, niveles alcanzados durante el transporte comercial (Pérez Pérez et al., 2016). En la identificación del tiempo mínimo para inducir la RC, las cajas de 170 g de zarzamora se vibraron por 0,1, 3, y 5 min. Dicho estudio se realizó por triplicado. Después de la vibración, los frutos fueron fotografiados y se realizaron mediciones de color.

Relación entre RC y contenido de antocianinas

Las cajas de zarzamora de 170 g de la variedad APF-122 fueron sometidas a dos tratamientos: fruta revertida (5 min de vibración con frecuencia de 10 a 15 Hz y aceleración de 0.5 g) y fruta no revertida (0 min de vibración). Como se mencionó arriba, este experimento se realizó por triplicado. Las cajas se almacenaron por 0, 24, 48, 72, 96, y 120 h a 1 °C y 95 % de humedad relativa. Las muestras fueron fotografiadas y se midió su color; después del almacenamiento, se separaron

las drupas con y sin reversión de color, se y conservaron a -80 °C hasta su análisis de antocianinas.

Análisis de color

El color (L^* , a^* , b^*) se midió en la zona ecuatorial del fruto utilizando un colorímetro CM-600D (Konica Minolta, Japón) con un iluminante D65 y ángulo de observación de 10°. Los valores de cromaticidad (C^*) y ángulo de matiz (hue°) fueron estimados de acuerdo con lo reportado (McGuire, 1992).

Análisis del contenido de antocianinas

Se obtuvo un extracto de antocianinas a partir de 3 g de drupas y 25 mL de una mezcla de solventes [metanol, agua, y ácido fórmico (80:19.9:0.1)]. La muestra se homogenizó (T-25, IKA, Alemania) y posteriormente se centrifugó (13,500 rpm) durante 15 min a 4 °C; el sobrenadante se filtró (Whatman no. 4) y se analizó el contenido de antocianinas monoméricas por espectrofotometría y por HPLC.

Antocianinas monoméricas

Quinientos microlitros del extracto de antocianinas se diluyeron en 2 mL de solución amortiguadora de cloruro de potasio (0.025 M, pH 1.0) y de acetato de sodio (0.4 M, pH 4.5). Para cada solución se determinó el espectro de absorción de 400 a 700 nm en un espectrofotómetro (Lambda 365, Perkin Elmer, Inc., EUA). El contenido de antocianinas monoméricas (AM) se estimó con la siguiente ecuación:

$$MA = \frac{A * MW * DF * 1000}{\epsilon * 1}$$

Donde MA es el contenido de antocianinas monoméricas; $A = (A_{\lambda_{vismax}} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{\lambda_{vismax}} - A_{700})_{pH4.5}$; MW es el peso molecular de la cianidin-3-glucósido (449.2 g mol⁻¹); ϵ es el coeficiente de absorptividad molar de la cianidin-3-glucósido (26,900 L cm⁻¹ mol⁻¹); DF es el factor de dilución, y 1 es el grosor de la celda (1 cm). Los resultados se expresaron como equivalentes de cianidin-3-

congelaron en nitrógeno líquido glucósido en mg g⁻¹ de muestra (Giusti & Wrolstad, 2001).

Perfil de antocianinas por HPLC

El análisis de antocianinas por HPLC se realizó en un equipo Waters (Waters, EUA) compuesto de una bomba cuaternaria (modelo Alliance e2695) y un detector PDA (modelo 2998). Se inyectó treinta microlitros del extracto de antocianinas en la bomba y, en cuanto a la separación de los compuestos, se realizó con una columna symmetry C-18 (5 µm, 150 mm x 4.6 mm), la cual se mantuvo a una temperatura de 35 °C. La fase móvil consistió en un solvente A [agua/ácido fórmico (99.9:0.1, v/v)] y un solvente B (acetonitrilo) con flujo de 0.5 mL min⁻¹. El gradiente usado fue: 0 min, 5% B; 0 a 20 min, 20% B; 20 a 25 min, 40% B; y 25 a 30 min, 5% B (Yang, Ou, Zhang, Zhou, & Ma, 2017). La detección de antocianinas se realizó a 520 nm, y se hizo la identificación con base en la comparación del tiempo de retención y espectro de absorción UV-VIS de un estándar de cianidin-3-glucósido (Sigma Aldrich). La cuantificación de antocianinas se realizó con una curva estándar de cianidin-3-glucósido (de 0.006 a 0.10 mg mL⁻¹); las antocianinas no identificadas se cuantificaron como equivalentes de cianidin-3-glucósido (García-Viguera, Zafrilla & Tomás Barberán, 1997).

Observaciones en microscopio

Para evaluar la distribución de las antocianinas dentro de las drupas, se realizó un análisis histológico. Las muestras de piel de drupas fueron cortadas de forma manual con una navaja de doble filo. El tejido se colocó en un portaobjetos (25 x 75 mm) y se protegió con un cubreobjetos (20 x 40 mm).

Las observaciones se realizaron con un microscopio compuesto (Olympus BX43, Tokio, Japón)

equipado con una cámara digital (Olympus, EUA). Para la observación de la fluorescencia de las antocianinas, los frutos fueron fijados con *p*-formaldehído al 4 % (Electron Microscopy Sciences, EUA) disuelto en una solución amortiguadora de fosfatos (0.16 M, pH = 7.2). Se colocó los tejidos en un portaobjetos y cubiertos con un cubreobjetos ($D = 0.17 \text{ mm} \pm 0.005 \text{ mm}$, índice de refracción = 1.5255 ± 0.0015 , Abbe número = 56 ± 2). La detección de antocianinas se realizó con un microscopio multifotónico (LSM 880-NLO, Zeiss, Alemania) acoplado a un láser Ti: Zafiro (Chameleon Vision II, COHERENT, EUA). Los análisis fueron realizados con un objetivo de inmersión (40X/1.3, $NA\alpha=0.17$, Zeiss Plan NEOFLUAR) y el espectro de fluorescencia fue determinado con el láser sintonizado a 710 nm con 1.2% de poder.

Análisis estadístico

Fueron realizadas tres bases de datos, parámetros de color, contenido de antocianinas y emisión de fluorescencia, con sus respectivas repeticiones para cada tratamiento. Para evaluar el efecto del tiempo de vibración en los parámetros de color, se realizó un análisis ANOVA de una vía y, en las variables de respuesta donde se encontró diferencia significativa, se realizó una prueba de Tukey. Para comparar el contenido y emisión de fluorescencia de las antocianinas de los frutos revertidos y no revertidos, se hizo una prueba *t* de Student. El nivel de significancia se estableció a $p \leq 0.05$. Ambos procedimientos fueron analizados con el software JMP 6 (SAS Institute Inc., USA).

Resultados

Modelo para generar RC

Para identificar el tiempo mínimo de vibración al que se deben someter los frutos de zarzamora para inducir la RC, las cajas de zarzamora fueron

vibradas durante 0, 1, 3 y 5 min. La inspección visual reveló que la fruta de zarzamora vibrada por 0 y 1 min no mostró signos de RC; las muestras vibradas por 3 min presentaron algunas drupas con coloración roja, y todos los frutos sometidos a 5 min de vibración mostraron un cambio de color característico de la RC (ver Figura 1).



Figura 1. La vibración (frecuencia entre 10 y 15 Hz, aceleración de 0.5 g) por 5 min induce la reversión de color en frutos de zarzamora. Fuente: Elaboración propia.

Para confirmar estas observaciones con valores objetivos, se realizó la medición de color. El valor de L incrementó conforme se prolongó el tiempo de exposición de los frutos a la vibración, por lo que el mayor valor de L se observó en los frutos vibrados por

5 min; en este tratamiento la luminosidad (L^*) incrementó 80 % en comparación con el control (0 min de vibración) (Cuadro 1). Respecto a la cromaticidad (C^*), los tratamientos de vibración de 0 y 1 min presentaron valores comparables, pero a partir de los 3 min de vibración las muestras aumentaron su cromaticidad. El ángulo de matiz (h° o h°) de los frutos vibrados por 0, 1 y 3 min permaneció entre 310° y 350° (color morado en el espacio de color), mientras que el valor de h° se desplazó hasta los 43° (color rojo en el espacio de color) en los frutos vibrados. En conjunto, los tres parámetros de color revelaron que las muestras vibradas por 5 min presentaron RC por lo que los frutos de este tratamiento fueron seleccionados para los análisis de antocianinas.

Cuadro 1. La vibración (frecuencia entre 10 y 15 Hz, aceleración de 0.5 g) por 3 y 5 min, induce cambios en los parámetros de color (L^* , C^* y h°) de los frutos de zarzamora.

Tiempo de vibración (min)	L*	C*	h°
0	15,8±0,7 D	1,2±0,2 B	324,2±3,4 C
1	18,9±0,6 C	1,7±0,2 B	310,6±3,0 B
3	23,3±0,9 B	2,7±0,3 A	353,6±4,8 D
5	28,5±0,7 A	3,1±0,2 A	43,0±3,4 A

Los datos se expresan como la media ± error estándar (n=15). Letras diferentes indican diferencia significativa (p < 0.05) entre tratamientos utilizando una prueba de Tukey. Fuente: Elaboración propia

Relación entre RC, color y contenido de antocianinas

Con el propósito de comprobar si la disminución en el contenido de antocianinas explica la RC en las zarzamoras, frutos revertidos (5 min con frecuencia de 10 Hz y aceleración de 0.5 g) y no revertidos se almacenaron (a 1 °C durante 120 h), cada 24 h se evaluó el color y contenido de antocianinas.

En los tres parámetros de color evaluados, se observaron diferencias entre los frutos revertidos y no revertidos. Durante todo el almacenamiento los primeros presentaron mayores valores de luminosidad y cromaticidad (Cuadro 2). Con respecto al ángulo de matiz, estos frutos mostraron valores entre 28.5° y 90.2°, indicando que se encontraban en la región de color rojo-naranja; mientras que, en los frutos no revertidos, los valores registrados oscilaron entre 226.6° y 327.5°, indicando que los frutos mantenían su coloración azul-violeta.

En las primeras 72 h de almacenamiento, los frutos revertidos y no revertidos presentaron contenidos de antocianinas monoméricas similares; a partir de las 96 h de almacenamiento, los primeros mostraron 20 % de reducción en el contenido de antocianinas respecto de los segundos (Figura 2A).

El análisis por HPLC reveló que el perfil de antocianinas del fruto de zarzamora está conformado por cuatro antocianinas diferentes

(Figura 2B). Los frutos revertidos y no revertidos mostraron el mismo perfil de antocianinas durante todo el almacenamiento, lo cual indicó que el cambio de color observado en la RC no se debe a cambios en el perfil de antocianinas de los frutos.

Cuadro 2: Los frutos de zarzamora no revertidos (NR) y revertidos (R) presentan diferencias en los parámetros de color (L*, C* y hue°) durante su almacenamiento poscosecha de 120 h a 1 °C

Tiempo (horas)	L*		C*		h°	
	NR	R	NR	R	NR	R
0	15,8±0,7B	19,1±1,1A	1,2±0,2B	3,1±0,2A	324,2±19,9A	43,0±9,6B
24	12,1±2,2B	16,0±4,1A	1,9±0,9B	6,2±0,6A	318,9±32,5A	83,9±22,4B
48	15,1±1,1B	23,7±3,7A	1,0±0,3B	4,0±0,3A	305,4±21,1A	90,2±19,1B
72	15,8±2,1B	21,9±4,3A	2,0±0,5B	5,6±0,5A	327,5±16,8A	66,0±16,8B
96	16,0±2,4B	21,3±3,1A	1,1±0,7B	5,8±0,5A	280,5±25,3A	28,5±16,0B
120	16,1±3,3B	22,9±2,8A	1,1±1,0B	4,6±0,6A	226,6±44,2A	53,0±27,9B

Los datos se expresan como la media ± error estándar (n=15). Las diferentes letras indican una diferencia significativa (p < 0.05) entre tratamientos (frutos no revertidos y revertidos) utilizando una prueba t de Student. Fuente: Elaboración propia.

Con el uso de un estándar, el pico 1 fue identificado como cianidina-3-glucósido. Durante las primeras 48h de almacenamiento, los frutos revertidos y no revertidos presentaron contenidos de cianidina-3-glucósidos comparables; pero a partir de las 72 h, frutos revertidos registraron 18 % menos concentración de cianidina-3-glucósido que los frutos no revertidos (Figura 2C). Las tres antocianinas minoritarias mostraron una tendencia similar; en las primeras 72 h de almacenamiento no se observaron diferencias entre frutos revertidos y no revertidos, pero a las 96 h de almacenamiento, en frutos revertidos se observó una disminución entre el 20 y 25 % en comparación con frutos no revertidos (Figura 2D-F).

Los resultados del análisis de color y antocianinas demostraron que la RC no está asociada con la disminución en el contenido de antocianinas, ya que, desde la hora 0 de almacenamiento, los frutos

presentaban coloración roja y el contenido de antocianinas no cambió hasta después de 72 horas dealmacenamiento a 1 °C.

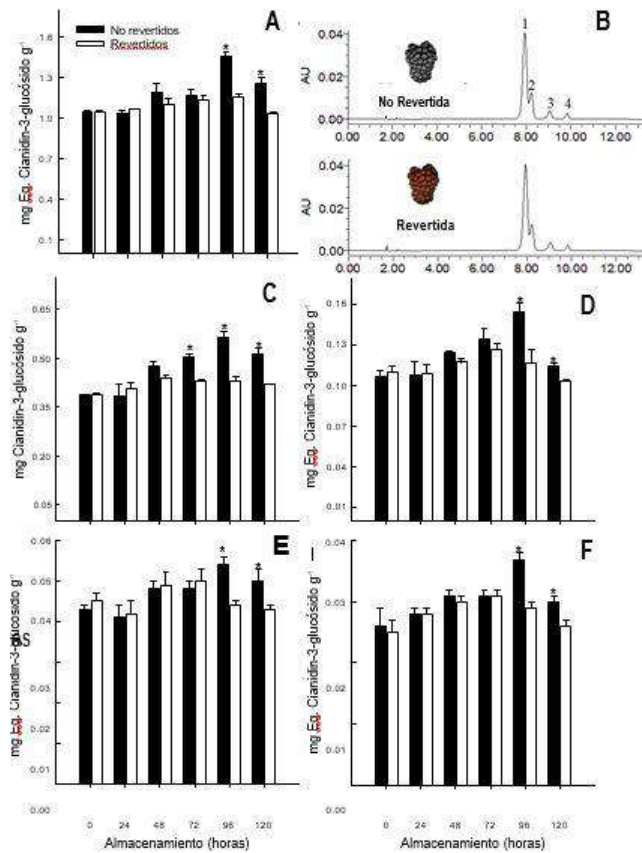


Figura 2. La Reversión de Color no está asociada a una reducción en el contenido de antocianinas. A) antocianinas totales, B) perfil de antocianinas, C) cianidina-3-glucósido, D-F) antocianinas no identificadas. Barras indican la media \pm error estándar (n=3). *Indica diferencia estadística ($p < 0.05$) entre los grupos utilizando una prueba de t de Student. Fuente: Elaboración propia.

Cambios en aglomerados de antocianinas durante la RC

Para identificar si el cambio de color observado en los frutos con RC se debe a cambios en la estructura intracelular donde se almacenan las antocianinas, se realizaron observaciones por microscopía óptica y multifotónica en las drupas de frutos revertidos y no revertidos.

Los análisis de microscopía revelaron que las antocianinas en las muestras no revertidas se encuentran en forma de aglomerados esféricos

(Figura 3A y C); de forma contrastante, en los frutos revertidos, las antocianinas se encuentran dispersas en el medio celular (Fig. 3B y D). Esto sugiere que el daño mecánico generado por la vibración afecta la estructura intracelular donde se almacenan las antocianinas, lo cual provoca su dispersión en el medio intracelular.

La intensidad de la emisión de fluorescencia es un parámetro indirecto para la detección de interacciones intermoleculares (Trouillas et al., 2016). Para evaluarse la ruptura de los aglomerados de antocianinas que se presenta en los frutos con RC provoca cambios en estas interacciones, se midió la fluorescencia que emiten las antocianinas de los frutos revertidos y no revertidos. Las antocianinas de los frutos revertidos presentaron menor intensidad de fluorescencia en comparación con las antocianinas de frutos no revertidos, lo que sugiere una pérdida de interacciones intermoleculares en las antocianinas de frutos con RC (Figura 3E). Es probable que el cambio de color que se observa en la reversión de color se debe a la pérdida de las interacciones intermoleculares de las antocianinas.

Discusión

Recientemente se ha reportado que la vibración generada durante el transporte comercial de la fruta de zarzamora es un factor que induce la RC (Gil & Beaudry, 2020; Pérez Pérez et al., 2016). La evidencia fotográfica mostró que la vibración (frecuencia de 10-15 Hz y aceleración de 0.5 g) por 5 min induce la RC. Asimismo, los cambios en los parámetros CIELab demostraron que los frutos sometidos a este tratamiento (5 min de vibración con frecuencia de 10-15 Hz y aceleración de 0.5 g) cambiaron su color morado, oscuro y con poca intensidad a un color rojo con mayor claridad y cromaticidad (McGuire, 1992; Wrolstad, Durst & Lee, 2005). Esto confirmó que la vibración es un factor asociado a la RC y que el tratamiento de 5 min de vibración a 10-15 Hz y 0.5 g de aceleración es un modelo adecuado para inducir la RC y estudiar el fenómeno desde el primer momento en que se manifieste en los frutos de zarzamora.

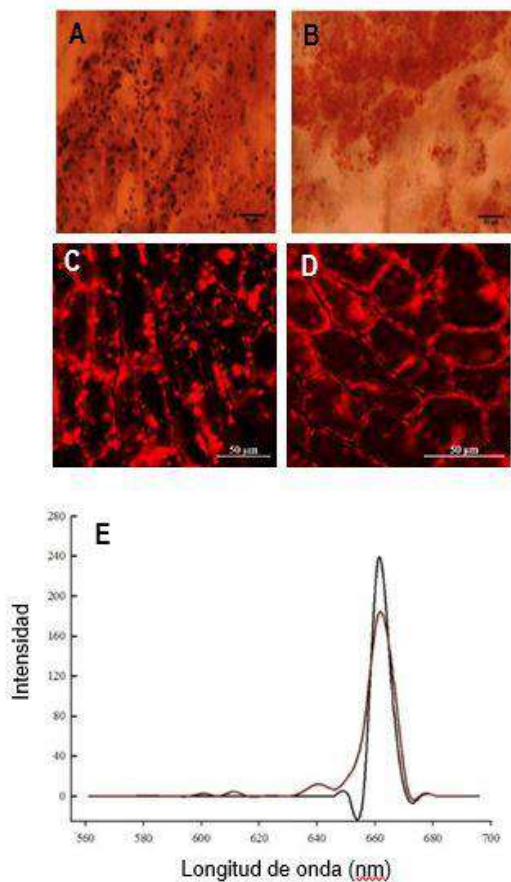


Figura 3. La Reversión de Color es asociada a la pérdida de aglomerados de antocianinas. Tejido de drupa de zarzamora observada en microscopio óptico A) Fruta no revertida y B) revertida. Tejido de drupa de zarzamora observado en microscopía multifotónica. Fluorescencia de antocianinas excitadas a λ 710 nm en C) Fruta no revertida y D) Revertida. E) Espectro de emisión de fluorescencia de antocianinas en frutos no revertidos (línea negra) y revertidos (línea roja). Fuente: Elaboración propia

El análisis de color y de contenido de antocianinas durante el almacenamiento permitió demostrar que la RC no está asociada a la reducción del contenido de antocianinas ni a cambios en el perfil de dicha sustancia. Otros estudios han reportado disminución de antocianinas entre el 50 – 60 % en zarzamora con RC después de 24 h de almacenamiento (Edgley et al., 2019; Kim et al., 2019); es posible que la reducción de antocianinas reportada en frutos revertidos se deba cambios enzimáticos que ocurren durante su almacenamiento a baja temperatura posterior a la aparición de la RC (González, de Ancos & Cano, 2000). Pero dichos cambios no explican el

mecanismo por el cual ocurre el fenómeno.

Se ha reportado que, en células de maíz, a pesar de mantener el mismo contenido y perfil de antocianinas, puede presentarse un oscurecimiento en su coloración asociado con la formación de aglomerados de antocianinas (Irani & Grotewold, 2005). Esta modificación en la coloración se ha atribuido a que, dentro de los aglomerados, las antocianinas interactúan con copigmentos como compuestos fenólicos, taninos y otros compuestos (Chanoca et al., 2015; Markham et al., 2000; Zhang et al., 2006). Estas interacciones antocianinas-copigmento producen un efecto hipercrómico en el espectro de absorción y fluorescencia de las antocianinas, por lo que se produce un cambio en la coloración (Trouillas et al., 2016). Debido a esto, en los frutos con RC, al perderse la estructura de los aglomerados de antocianinas, podría estar ocurriendo cambios en las interacciones intermoleculares de las antocianinas y que estas sean los responsables del cambio de color que presentan los frutos revertidos.

Conclusión

Los datos de este estudio revelaron que la vibración de los frutos entre 10-15 Hz y 0.5g durante 5 min induce la RC; que este cambio de coloración no está relacionado con reducción en el contenido de antocianinas; y que la pérdida estructural de aglomerados que contienen las antocianinas podría provocar cambios moleculares que expliquen el cambio de color de los frutos revertidos.

Referencias Bibliográficas

- Chanoca, A., Kovich, N., Burkel, B., Stecha, S., Bohorquez Restrepo, A., Ueda, T., Otegui, M. S. (2015). Anthocyanin Vacuolar Inclusions Form by a Microautophagy Mechanism. *The Plant Cell*, 27(9), 2545-2559. doi:10.1105/tpc.15.00589
- Edgley, M., Close, D. C., & Measham, P. F. (2020). Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors. *Scientia Horticulturae*,

- 272,
109555.
doi:10.1016/j.scienta.2020.109555
- Edgley, M., Close, D. C., Measham, P. F., & Nichols, D. S. (2019). Physiochemistry of blackberries (*Rubus* L. subgenus *Rubus* Watson) affected by red drupelet reversion. *Postharvest Biology and Technology*, 153, 183-190.
doi:10.1016/j.postharvbio.2019.04.012
- Fernando, I., Fei, J., & Stanley, R. (2019). Measurement and analysis of vibration and mechanical damage to bananas during long-distance interstate transport by multi-trailer road trains. *Postharvest Biology and Technology*, 158, 110977.
doi:10.1016/j.postharvbio.2019.110977
- García Viguera, C., Zafrilla, P., & Tomás Barberán, F. A. (1997). Determination of authenticity of fruit jams by HPLC analysis of anthocyanins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73(2), 207- 213.
- Gil, M. I. & Beaudry, R. M. (2020). *Controlled and modified atmospheres for fresh and fresh-cut produce*: Academic Press.
- Giusti, M. M. & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. Current protocols in food analytical chemistry(1), F1. 2.1-F1.2.13.*
- González, E. M., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2000). Partial characterization of peroxidase and polyphenol oxidase activities in blackberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5459-5464.
- Irani, N. G., & Grotewold, E. (2005). Light-induced morphological alteration in anthocyanin-accumulating vacuoles of maize cells. *BMC Plant Biology*, 5(1), 1-15.
- Kim, M. J., Lee, M. Y., Shon, J. C., Kwon, Y. S., Liu, K. H., Lee, C. H., & Ku, K. M. (2019). Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries—Understanding postharvest red drupelet disorder. *Food Chemistry*, 300, 125169
- Markham, K. R., Gould, K. S., Winefield, C. S., Mitchell, K. A., Bloor, S. J., & Boase, M. R. (2000). Anthocyanic vacuolar inclusions—their nature and significance in flower colouration. *Phytochemistry*, 55(4), 327- 336
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Pérez Pérez, G., Fabela Gallegos, M., Vázquez-Barrios, M., River -Pastrana, D., Palma Tirado, L., Mercado Silva, E., & Escalona, V. (2016). Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit. Paper presented at the VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits- Ethical and Technological Issues 1194.
- Trouillas, P., Sancho García, J. C., De Freitas, V., Gierschner, J., Otyepka, M., & Dangles, O. (2016). Stabilizing and modulating color by copigmentation: Insights from theory and experiment. *Chemical reviews*, 116(9), 4937- 4982.
- Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 423-428.
- Yang, J., Ou, X., Zhang, X., Zhou, Z., & Ma, L. (2017). Effect of different solvents on the measurement of phenolics and the antioxidant activity of mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) with accelerated solvent extraction. *Journal of Food Science*, 82(3), 605-612.
- Zhang, H., Wang, L., Deroles, S., Bennett, R., & Davies, K. (2006). New insight into the structures and formation of anthocyanic vacuolar inclusions in flower petals. *BMC Plant Biology*, 6(1), 1-14.

Síntesis parcial de citroflavonoides a partir de la naringina

Mónica F. Martínez Coronado, Eloy Rodríguez de León*, Alejandro Núñez Vilchis, Areli Rodríguez Ontiveros, Moustapha Bah.

Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de las Campanas, Querétaro 76010.

* eloy.rodriguez@uaq.mx

Resumen

Los flavonoides son compuestos naturales presentes en una gran cantidad de plantas. Su alta capacidad antioxidante les otorga diversas propiedades benéficas para la salud humana. La familia de los flavonoides puede dividirse en seis grandes grupos: los flavanoles, las antocianinas, los flavonoles, las isoflavonas, las flavonas y las flavanonas. La cáscara de los frutos del género *Citrus*, comúnmente conocidos como cítricos, es rica en ácidos fenólicos y flavonoides. La toronja (*Citrus paradisi*) es uno de los frutos que compone este género y destaca por poseer una cantidad significativa del flavonoide naringina (en adelante, mencionado como "compuesto 1"). En la actualidad, al consumir un cítrico, la cáscara y la semilla no son utilizadas, lo que implica un desperdicio de aproximadamente un 60 % del total del fruto. Asimismo, existe una creciente necesidad de reutilizar y optimizar los recursos naturales con la intención de reducir el impacto ambiental. En este sentido, el presente trabajo está enfocado en aprovechar los residuos de la cáscara de toronja (*Citrus paradisi*) para extraer la flavanona naringina mediante una metodología sencilla y amigable con el ambiente. A partir del compuesto 1, se obtuvieron mediante síntesis parcial los flavonoides naringenina (compuesto 2), rhoifolina (compuesto 3) y apigenina (compuesto 4) con un buen porcentaje de conversión. Finalmente, los análisis mediante HPLC-DAD indicaron que la naringenina se obtiene con un 99 %, mientras que la conversión de la rhoifolina y la apigenina en un 70 % y 99 % respectivamente.

Palabras clave: citroflavonoides, química sostenible, naringina, toronja, apigenina.

Abstract

Flavonoids are natural compounds present in a large number of plants. Their high antioxidant capacity gives them several beneficial properties for human health. The flavonoid family can be divided into six major groups: flavanols, anthocyanins, flavonols, isoflavones, flavones and flavanones. The peel of the fruits of the *Citrus* genus, commonly known as citrus fruits, is rich in phenolic acids and flavonoids. Grapefruit (*Citrus paradisi*) is one of the fruits that make up this genus and stands out for possessing a significant amount of the flavonoid naringin (hereafter referred to as "compound 1"). At present, when consuming a citrus fruit, the peel and seed are not used, which implies a waste of approximately 60 % of the total fruit. Likewise, there is a growing need to reuse and optimize natural resources with the intention of reducing the environmental impact. In this sense, the present work is focused on taking advantage of grapefruit (*Citrus paradisi*) peel residues to extract the flavanone naringin by means of a simple and environmentally friendly methodology. From compound 1, the flavonoids naringenin (compound 2), rhoifolin (compound 3) and apigenin (compound 4) were obtained by partial synthesis with a good conversion rate. Finally, HPLC-DAD analysis indicated that naringenin is obtained with 99 %, while the conversion of rhoifolin and apigenin in 70 % and 99 % respectively.

Keywords: citroflavonoids, sustainable chemistry, naringin, grapefruit, apigenin.

Introducción

La necesidad de utilizar materias primas renovables para la obtención de productos con alto valor agregado, en lugar de recursos no renovables como el petróleo, es una actividad que contribuye enormemente a lograr un desarrollo sostenible. Actualmente, entendemos como desarrollo sostenible (sostenibilidad) aquel que sea capaz de satisfacer las necesidades actuales de las personas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras.

En la actualidad, la gran mayoría de los principios activos de los medicamentos comercializados a nivel mundial son obtenidos a través de síntesis química. Esto implica que los materiales para la obtención de un determinado ingrediente activo sean derivados del petróleo y que en su desarrollo tengan una elevada huella de carbono. En ese sentido, el aprovechar los recursos naturales renovables y de preferencia endémicos de una región implica una gran disminución en el impacto ambiental de un determinado producto.

Nuestro país se destaca por ser uno de los principales países megadiversos debido a su amplia gama de recursos naturales y valores culturales. Asimismo, estos recursos representan una fuente importante de compuestos con efectos benéficos para la salud humana. Uno de ellos que resulta ser potencialmente aprovechable, abundante y ampliamente producido en el país es el residuo de los cítricos (principalmente la cáscara de toronja y de naranja) generado a partir de la industria alimentaria y de los pequeños comerciantes a nivel local (juguerías). Actualmente, al consumir un cítrico, la cáscara y la semilla no son utilizadas, lo que implica un desperdicio de aproximadamente un 60 % del total del fruto. El aprovechamiento de estos recursos representa una oportunidad para extraer compuestos de amplio valor agregado, como la naringina y sus

derivados, los cuales son moléculas con utilidad en la industria farmacéutica y alimentaria (Ghasemzadeh & Jaafar, 2013). También, es de destacarse que México ocupa el tercer lugar a nivel mundial como productor de toronja (USDA, 2020). La producción anual promedio de este cítrico es de aproximadamente 400,000 toneladas métricas, siendo el Estado de Veracruz el principal productor a nivel nacional (USDA, 2020).

La cáscara y las semillas de los cítricos son muy ricas en compuestos fenólicos y flavonoides. Sin embargo, la cáscara es más rica en flavonoides que las semillas. Los flavonoides presentes en los cítricos son principalmente del tipo flavanonas unidas a azúcares. La naringina es uno de los flavonoides más abundantes en todos los frutos cítricos (Tripoli et al., 2007).

La cáscara de pomelo (*Citrus grandis*) y toronja (*Citrus paradisi*) poseen una alta cantidad de naringina (Sudto et al., 2009). Su contenido en el fruto depende de diferentes factores como el estado de maduración, la parte utilizada y el tiempo de secado. La naringina ejerce acciones terapéuticas potenciales al modular diversas proteínas y enzimas, por lo que posee propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antivirales y antiinflamatorias (Wang et al., 2013).

El presente proyecto propone reutilizar y transformar los desechos, cáscara, de la toronja (*Citrus paradisi*) generados por la industria alimentaria para extraer, utilizando el ultrasonido y las microondas (fuentes de energía alternativas y ecológicas), el flavonoide naringina y a partir de éste transformarlo en compuestos con un alto valor agregado (síntesis parcial). Asimismo, el presente proyecto se enfoca en el desarrollo de una vía menos contaminante y que persigue los principios de la química verde para

producir los flavonoides naringenina, rhoifolina y apigenina.

Metodología

El análisis (% de conversión) e identificación de los flavonoides obtenidos, se realizó mediante cromatografía utilizando un cromatógrafo de líquidos marca Waters® provisto de una bomba cuaternaria modelo e2695 y un detector de arreglo de diodos (DAD) modelo 2998. Los análisis se realizaron mediante un método de fase reversa utilizando como fase estacionaria una columna C₁₈ (5 µm, 150 x 4.6 mm) y como fase móvil un gradiente de acetonitrilo con agua acidulada con ácido acético 0.0125N a un flujo de 1 mL/min (Tabla 1). Los análisis en cromatografía en capa fina se realizaron utilizando placas de gel de sílice de 0.25 mm de espesor y con indicador de fluorescencia (PF 254) (Merck).

Tabla 1. Gradiente de elución para el análisis de los flavonoides.

Tiempo (minutos)	Ácido acético [0.0125N] (%)	Acetonitrilo (%)
0	95	5
2	95	5
5	85	15
20	50	50
25	95	5

Fuente: Elaboración propia.

Para la optimización de la extracción de la naringina, se utilizó un diseño experimental 2k completo y centrado (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño experimental para la optimización de parámetros.*

Experimento	Nivel de temperatura	Nivel de tiempo
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	-1
4	+1	+1
5	0	0

*Los niveles bajos representados con '-1', niveles altos representados con '+1' y el nivel intermedio representado con '0'. Fuente: Elaboración propia.

En la extracción asistida por microondas, se evaluaron temperaturas de 50 °C y 80 °C como niveles alto y bajo, así como 15 y 25 minutos como alto y bajo de tiempo respectivamente. También, se evaluó la extracción del analito asistida por ultrasonido con las siguientes condiciones 35 °C, 37 kHz y 5 min. Asimismo, se realizó la extracción convencional mediante reflujo a 55 °C y durante 3 horas como control. Las extracciones por reflujo y asistidas por microondas, se realizó en metanol y etanol mientras que en la asistida por ultrasonido únicamente se utilizó metanol como medio extractante. Todos los experimentos fueron realizados por triplicado. El contenido de naringina (en mg/g) extraída a partir de la cáscara, se cuantificó mediante una curva de calibración realizada usando el método HPLC antes descrito y un estándar comercial de naringina. Los resultados de las extracciones fueron evaluados mediante análisis de varianza (ANOVA) y, para comprobar si existe una diferencia significativa entre los grupos (medios de extracción y técnicas), se realizó la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 95 % correspondiente al promedio de 3 réplicas (n=3).

Por otra parte, a partir de la naringina extraída se obtuvo la naringenina (compuesto 2) mediante reacciones de hidrólisis catalizada por ácido. Brevemente, se describe el procedimiento: en un matraz bola de 50 mL, se colocaron 0.25 mmol de

naringina, se adicionaron 10 mL de una disolución de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones (entre 0.05 y 2.5 N). La mezcla se calentó a reflujo y se mantuvo en agitación durante 2 o 3 horas. Transcurrido este intervalo de tiempo, la mezcla de reacción se dejó enfriar a temperatura ambiente y se le adicionaron 20 mL de una disolución de bicarbonato de sodio; por último, se realizaron tres extracciones con 5 mL de acetato de etilo. La obtención de la rhoifolina y de la apigenina, se realizó mediante una reacción de oxidación catalizada por yodo y base. En un matraz bola de 50 mL provisto de un agitador magnético, se adicionó 0.25 mmol de naringina, 0.25 mmol de yodo y 5 mL de piridina. La disolución se calentó a 95 °C con agitación constante durante 2 y 24 horas. Transcurrido este tiempo, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se añadieron 50 mg de metabisulfito de sodio en 5 mL de agua y 5 mL de ácido clorhídrico al 1 %. Finalmente, para la recuperación del producto de interés se realizaron tres extracciones con 10 mL de acetato de etilo.

Finalmente, la caracterización de los flavonoides se realizó a través del estudio de sus espectros de resonancia magnética nuclear (RMN) de ^1H y ^{13}C , los cuales fueron obtenidos en un espectrómetro de la marca Brüker Avance III HD de 500 MHz del Laboratorio Nacional de Caracterización de Propiedades Físicoquímicas y Estructura Molecular de la Universidad de Guanajuato. Se utilizó metanol y piridina deuterados como disolventes y tetrametilsilano (TMS) como estándar interno.

Resultados

La identificación y cuantificación de la naringina extraída y el monitoreo del avance de las reacciones se realizaron utilizando el método HPLC-DAD. La Figura 1 muestra el cromatograma obtenido del estándar de naringina.

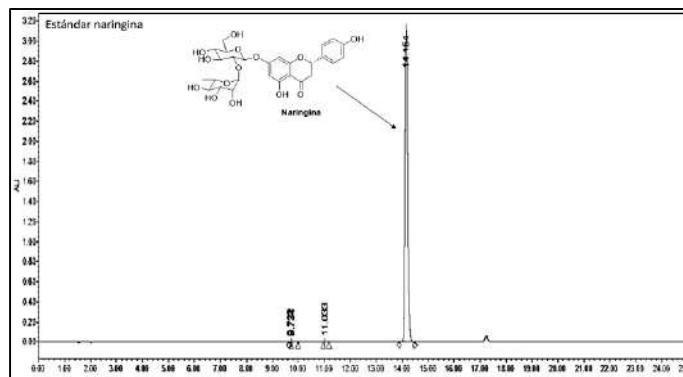


Figura 1. Cromatograma del estándar de naringina. Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 2 y 3 muestran las gráficas de superficie obtenidas para la optimización de la extracción de naringina asistida por microondas en dos medios extractantes (metanol y etanol respectivamente).

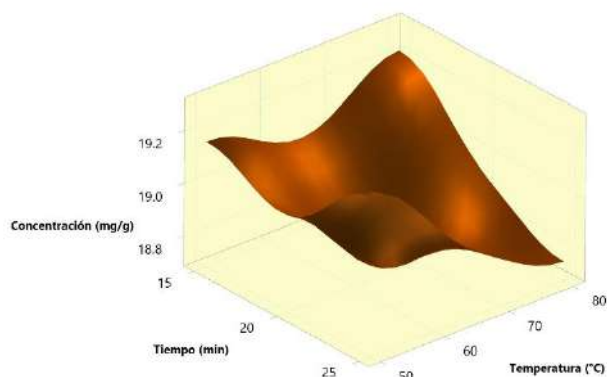


Figura 2. Extracción de naringina en metanol variando tiempo y temperatura usando microondas. Fuente: Elaboración propia.

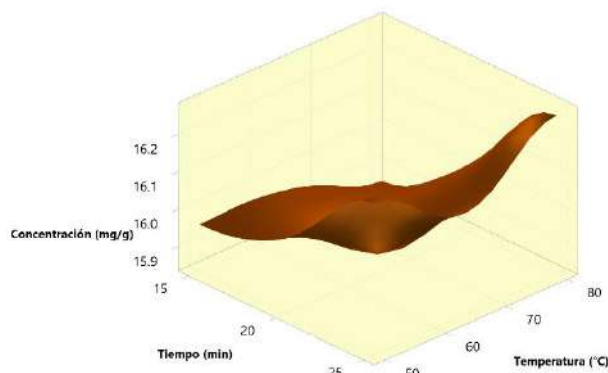


Figura 3. Extracción de naringina en etanol variando tiempo y temperatura usando microondas. Fuente: Elaboración propia.

La naringina obtenida mediante las distintas técnicas y condiciones de extracción se muestra en la Figura 4.

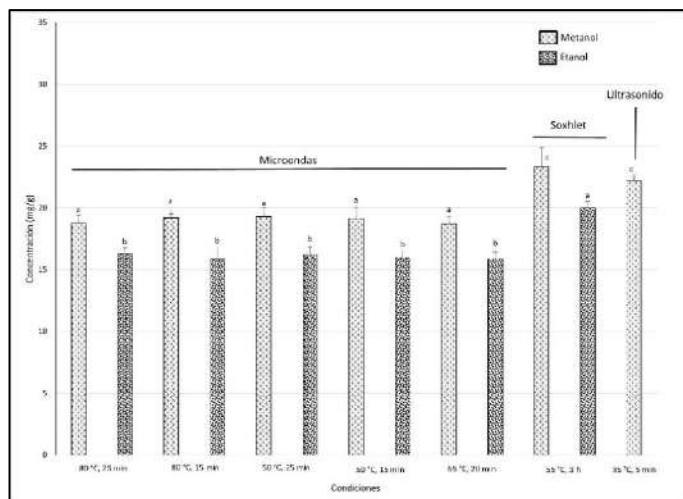


Figura 4. Concentración de naringina a las distintas condiciones de extracción (N=3). a, b, c Distintas letras representan diferencia estadística significativa. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5 muestra la mezcla de estándares de naringina y naringenina. Se observa que el flavonoide libre (aglicona) posee mayor tiempo de retención que el compuesto glicosilado (naringina).

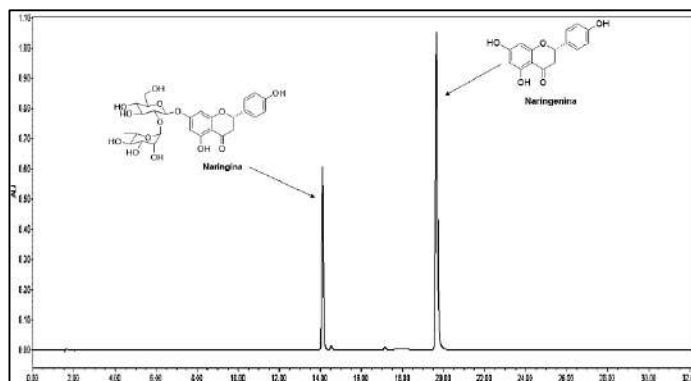
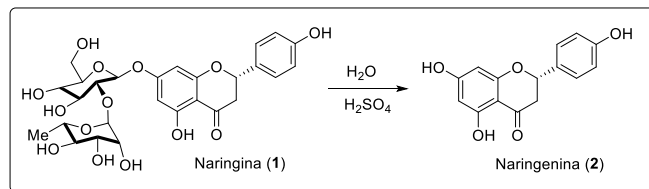


Figura 5. Cromatograma de la mezcla de estándares. Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de hidrólisis a partir de la naringina para la obtención de la naringenina (Esquema 1) fueron realizadas mediante dos distintas metodologías: un método convencional (calentamiento a reflujo) y utilizando un método más “eficiente y ecológico” como el uso de las microondas.



Esquema 1. Hidrólisis catalizada por ácido a partir de la naringina. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las pruebas de hidrólisis se muestran en la Tabla 3. Todas las pruebas fueron monitoreadas mediante HPLC-DAD para obtener el % de conversión.

Tabla 3. Reacciones de hidrólisis catalizada por ácido a partir de la naringina.

Experimento	H ₂ SO ₄ [N]	Tiempo (horas)	Conversión (%)
1	0.50	2 ^a	50
2	1.00	2 ^a	80
3	1.50	2 ^a	95
4	2.00	2 ^a	97
5	1.50	3 ^a	99
6	0.05	2 ^b	99
7	0.10	2 ^b	100
8	0.50	2 ^b	100
9	1.50	2 ^b	100

^aReacción a reflujo. ^bReacción realizada en microondas a 120 °C. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6, se muestra el cromatograma obtenido de analizar el producto de la hidrólisis ácida de la naringina utilizando una concentración de ácido 1.5 N y dos horas de reacción.

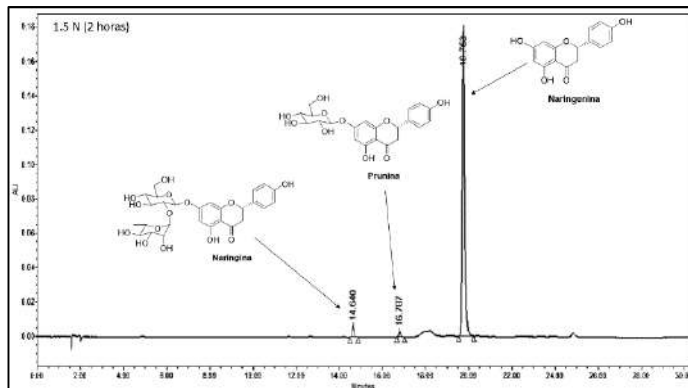


Figura 6. Cromatograma de la reacción de hidrólisis llevada a cabo en 2 horas y con una concentración de ácido 1.5 N (Tabla 3, experimento 3). Fuente: Elaboración propia.

La naturaleza química de la naringenina fue confirmada mediante el análisis de sus espectros de RMN de ^1H (Figura 7) y ^{13}C (Figura 8).

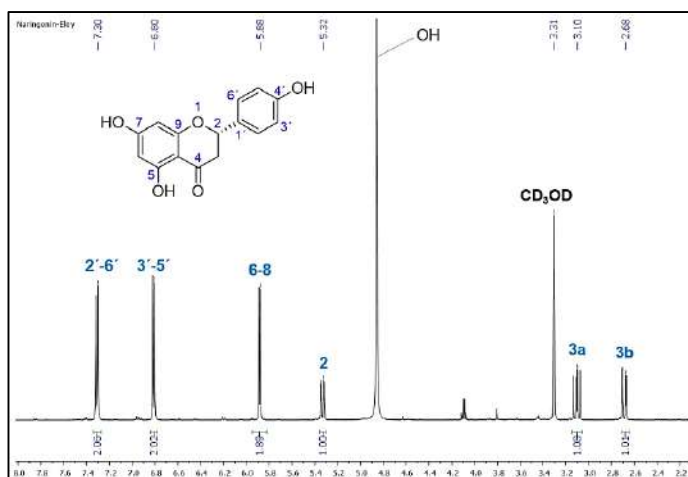


Figura 7. Espectro de ^1H de RMN de la naringenina. Fuente: Elaboración propia.

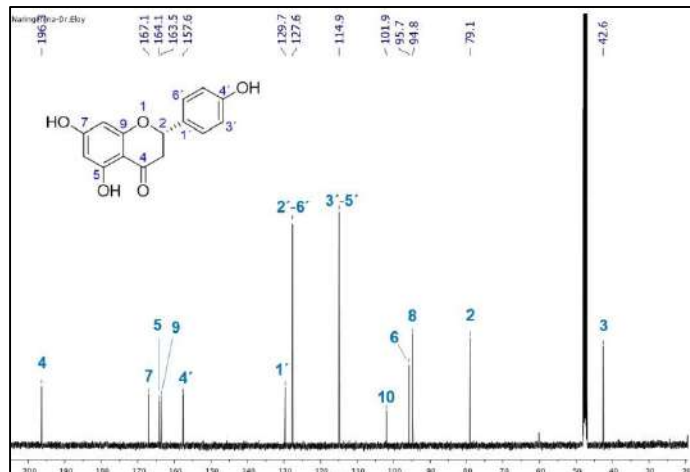
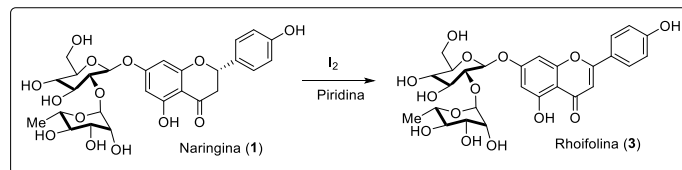


Figura 8. Espectro de ^{13}C de RMN de la naringenina. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se realizaron distintas pruebas para la obtención de la rhoifolina a partir de la naringina utilizando una reacción de oxidación catalizada por yodo y base (Esquema 2).



Esquema 2. Reacción de oxidación de la naringina para la obtención de la rhoifolina. Fuente: Elaboración propia.

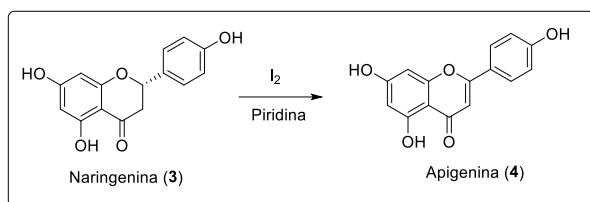
Los resultados de algunas pruebas de oxidación de la naringina se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Reacciones de oxidación catalizada por yodo y base a partir de la naringina.

Experimento	Tiempo (h)	Conversión (%)
1	3.5 ^a	20
2	24 ^a	70

^aReacción a 95 °C. Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la metodología anteriormente descrita (oxidación), se realizaron distintas pruebas para la obtención de la apigenina a partir de la naringenina (Esquema 3).



Esquema 3. Reacción de oxidación de la naringenina para la obtención de la apigenina. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de algunas de las pruebas de oxidación de la naringenina para la obtención de la apigenina se observan en la Tabla 5.

Tabla 5. Reacciones de deshidrohalogenación catalizada por yodo y base a partir de la naringenina.

Experimento	Tiempo (h)	Conversión (%)
1 ^a	2	15
2 ^a	24	99

^aReacción a 95 °C. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Las gráficas de superficie (Figuras 2 y 3) muestran las concentraciones de naringina recuperada usando las microondas y etanol o metanol como disolventes. En estos gráficos, se puede observar que las condiciones óptimas de extracción se logran cuando se utiliza la menor temperatura evaluada (50 °C) y el mayor intervalo de tiempo (25 minutos). Aunque cabe resaltar que la mayor cantidad del compuesto 1 se obtiene cuando se utiliza el metanol como disolvente.

La Figura 4 muestra que, tanto para la extracción mediante microondas como por reflujo, el metanol es el mejor medio para la extracción del compuesto 1 en el albedo de toronja al tener concentraciones significativamente mayores comparadas con el etanol en todas las condiciones de tiempo y temperatura evaluadas. Aun así, la extracción asistida por microondas no logró obtener las recuperaciones por reflujo. Es de destacarse que la

extracción asistida por ultrasonido obtuvo eficiencias comparables con la técnica tradicional, ambas en metanol, con tiempos y temperaturas bajos, por lo que puede considerarse una opción más viable para la extracción de la naringina.

El método cromatográfico desarrollado mediante HPLC-DAD nos permitió identificar a los flavonoides naringina y naringenina (Figura 1 y 5). Dicho método, permitió monitorear el avance de las reacciones de hidrólisis (Figura 6), así como el avance de las transformaciones de las reacciones de oxidación. Además de confirmar la presencia de la naringenina mediante HPLC-DAD, se logró confirmar la naturaleza química de este compuesto mediante el estudio de sus espectros de RMN de ¹H y ¹³C. En la Figura 7, se observa el espectro de ¹H de la naringenina, en el cual se muestra la presencia de los protones aromáticos en un desplazamiento químico de entre 5.80 y 7.40 ppm. Asimismo, se observa la señal del protón en la posición 2 a un desplazamiento químico de 5.32 ppm como un doble de dobles (*dd*). Finalmente, se confirma la presencia de los protones alifáticos y diastereotópicos 3a y 3b a un desplazamiento químico de 3.10 y 2.68 ppm respectivamente. Así mismo, en el espectro de ¹³C de la naringenina (Figura 8) se observan 15 señales correspondientes a los 15 carbonos presentes en la molécula. En dicho espectro, se puede destacar la presencia del carbono carbonilo a 196.3 ppm, 12 carbonos aromáticos pertenecientes a los anillos A y B de la estructura del flavonoide y las dos señales alifáticas correspondientes a los C-2 y C-3 a 79.1 y 42.6 ppm respectivamente.

Cabe resaltar que, para encontrar las mejores condiciones de obtención de la naringenina, se llevó a cabo distintas reacciones de hidrólisis a partir de la naringina utilizando diferentes concentraciones de ácido y tiempo (Esquema 1 y Tabla 3). A partir de dichos experimentos se encontró que utilizando una

concentración de ácido 1.5 N y en un tiempo de 3 horas, en el método convencional se obtiene un 99 %. Mientras que en el método alternativo (uso del microondas) se encontró que las condiciones óptimas fueron a un tiempo de 2 horas y con una concentración de ácido de 0.05 N; a partir de esto, se obtuvo un 100 % de conversión. Lo anterior indica que el uso de las microondas puede reducir significativamente la concentración de ácido, utilizada para la hidrólisis completa de los azúcares, y considerablemente el tiempo de reacción.

Por otra parte, se exploraron dos vías independientes para la obtención de la rhoifolina y de la apigenina. La metodología que se siguió para la obtención de estos compuestos es mediante una reacción de oxidación catalizada por yodo y base. Cuando se lleva a cabo dicha reacción partiendo de la naringina es posible sintetizar la molécula de rhoifolina (Esquema 2). La mejor conversión obtenida fue del 70 % en un tiempo de reacción de 24 horas (Tabla 4). Asimismo, utilizando la misma reacción de oxidación, pero usando como precursor la naringenina se logró obtener la apigenina (Esquema 3). En dichas pruebas se puede observar que se obtuvo un porcentaje de conversión del 99 % (Tabla 5).

Conclusiones

En conclusión, se evaluaron distintas técnicas de extracción de la naringina (microondas, ultrasonido y reflujo) a partir de la cáscara de toronja. A partir de lo anterior, se encontró que mediante la extracción asistida por ultrasonido se logra una eficiencia comparable con la técnica convencional (reflujo durante 3 horas) en un intervalo de tiempo muy corto 5 minutos. Además, se desarrolló un método cromatográfico mediante HPLC-DAD para el monitoreo de los productos de las diferentes reacciones. Se logró establecer las condiciones en las cuales ocurre una hidrólisis completa de los azúcares

por dos distintas metodologías (reflujo y microondas) para la obtención de la naringenina. Asimismo, se confirmó mediante espectroscopia de RMN de ^1H y ^{13}C la naturaleza química de la naringenina. Finalmente, se pudo obtener los citroflavonoides rhoifolina y apigenina con un buen porcentaje de conversión 70 y 99 % respectivamente.

Agradecimientos

A la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro por el financiamiento otorgado para la realización de una parte de este trabajo a través del Fondo “Química Somos Todos 2021”.

Referencias bibliográficas

- Ghasemzadeh, A., y Jaafar, H. Z. (2013). Profiling of phenolic compounds and their antioxidant and anticancer activities in pandan (pandanus amaryllifolius roxb.) extracts from different locations of Malaysia. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13(1). doi:10.1186/1472-6882-13-341
- Kurahayashi, K., Hanaya, K., Higashibayashi, S., y Sugai, T. (2018). Synthesis of trilobatin from naringin via Prunin as the key intermediate: Acidic hydrolysis of the α -RHAMNOSIDIC linkage in naringin under improved conditions. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(9), 1463-1467. doi:10.1080/09168451.2018.1482455
- Sudto, K., Pompakakul, S., y Wanichwecharunguang, S. (2009). An efficient method for the large-scale isolation of naringin from pomelo (citrus grandis) peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1737-1742. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01989.x
- Tripoli, E., Guardia, M. L., Giammanco, S., Majo, D. D., y Giammanco, M. (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity, and nutritional properties: A Review. *Food Chemistry*, 104(2), 466-479. doi:10.1016/j.foodchem.2006.11.054
- USDA. United States Department of Agriculture. (2020). Citrus: world markets and trade. Consultado el 24 de febrero, 2021
Obtenido de:

<https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/w66343603/gf06gq220/rx914c158/citrus.pdf>

USDA. United States Department of Agriculture. (2020) Mexico: citrus annual. Consultado el 24 de febrero, 2021 Obtenido de: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus%20Annual_Mexico%20City_Mexico_12-20-2019

Wang, D., Yang, Y., Zhang, L., Zhang, X., Guan, F., y Zhang, L. (2013). Naringin enhances CaMKII activity and improves long-term memory in a mouse model of alzheimer's disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(3), 5576-5586. doi:10.3390/ijms14035576

Intervención grupal en adicciones: el libro infantil como herramienta con adultos

Valeria Mendoza García
UAQ, Facultad de Psicología
vmendoza18@alumnos.uaq.mx

Daniela Amairani Hernández Rangel
UAQ, Facultad de Psicología
dhernandez70@alumnos.uaq.mx

Melissa Calderón Carrillo
UAQ, Facultad de Psicología
melissa.calderon@uaq.edu.mx

Resumen

A través de la intervención con dos grupos de personas bajo tratamiento (en dos clínicas de rehabilitación de Querétaro), utilizando el libro infantil como herramienta con diferente metodología (en uno, la psicoanalítica basada en Wilfred Bion, y, en otro, la cognitivo-conductual basada en Safran y Segal), se buscó dar cuenta de los efectos cognitivos o subjetivos que tiene la utilización de la literatura infantil. Se observó que, a partir de lo anterior dentro de las sesiones de terapia, los participantes hablaron sobre temas como la muerte y la pérdida, la relación con los otros, la familia, la salud física, el desempeño laboral, las emociones y su relación con el consumo. Si bien se utilizan dos metodologías distintas, ambas intervenciones tienen en común el libro infantil, el cual fue utilizado con éxito en ambos grupos; sin embargo, creemos que la intervención grupal está en constante movimiento lo que muestra que esta herramienta puede utilizarse con cualquier otra metodología y población, además de tener efectos positivos.

Palabras clave: literatura, grupos, adicciones, psicoanálisis, cognitivo-conductual.

Abstract

Through the intervention with two groups of people under treatment (in two rehabilitation clinics in Querétaro), using children's books as a tool with different methodologies (in one, psychoanalytic based on Wilfred Bion, and, in the other, cognitive-behavioral based on Safran and Segal), we sought to account for the cognitive or subjective effects of the use of children's literature. It was observed that, based on the above within the therapy sessions, participants talked about topics such as death and loss, relationship with others, family, physical health, job performance, emotions and their relationship with consumption. Although two different methodologies are used, both interventions have in common the children's book, which was used successfully in both groups; however, we believe that the group intervention is in constant movement which shows that this tool can be used with any other methodology and population, in addition to having positive effects.

Key words: literature, groups, addictions, psychoanalysis, cognitive-behavioral.

Introducción

En el año 2007, en el Centro Nacional de Información y Referencia de la Red de Drogas del Ministerio de Salud Pública de Uruguay, se utilizó la lectura del libro de ficción como herramienta terapéutica en la intervención clínica en pacientes con consumo problemático de sustancias psicoactivas. En la relación que se establece entre el paciente y la lectura, se logró otorgarle a los pacientes el apoyo para la superación de sus conflictos psicológicos.

El uso del libro y lectura del mismo en la intervención clínica es conocido usualmente como biblioterapia, se define como el arte de curar las enfermedades por medio de la lectura (Buonocore, 1976, p. 91). Cristina Deberti (2007) explica que existen distintos tipos de biblioterapia entre los cuales está la biblioterapia clínica, encargada de apoyar la superación de los conflictos psicológicos. Se usan, así, el libro y la lectura como agentes terapéuticos, basándose en la relación que se establece entre el paciente y la lectura. Esta última le proporciona el apoyo y soporte que necesita el primero. Además, Deberti (2007) cuenta que obtuvo grandes resultados: a través de la lectura en voz alta, los pacientes se permitieron expresar aquello de lo que no hablaban y, además, dieron lugar al sujeto que hay en ellos para dejar la etiqueta de “drogadicto”. Con lo anterior, nos preguntamos: ¿qué efectos subjetivos o cognitivos conlleva el uso del libro infantil como herramienta en la intervención en dos grupos con problemas de adicción, al utilizar en uno de ellos la metodología psicoanalítica y en el otro, la metodología cognitivo-conductual? Para ello, es necesario retomar al psicoanálisis desde la teoría de grupos de Wilfred Bion (1961) en su texto “Experiencias en grupos”, donde establece dos tipos de grupos:

- Grupo de supuestos básicos: el grupo se relaciona a través de supuestos básicos que le impiden llegar a su objetivo: dependencia, ataque-fuga y apareamiento.

- Grupo de trabajo: el grupo se relaciona a través de características específicas que le permiten llegar a su objetivo.

El libro infantil se introdujo en la intervención tras haber logrado que el grupo tuviese las características del segundo tipo.

En cuanto a la terapia cognitivo-conductual, Safran y Segal (1994), dos terapeutas cognitivos, retoman la teoría interpersonal de Harry Stack-Sullivan (1953), y establecen la Teoría Cognitiva Interpersonal (TCI), la cual parte de la relación terapéutica, como vía del cambio y de la consideración del paciente como parte del sistema interpersonal, en el que participa. La TCI se centra en tres mecanismos de cambio: a) el descentramiento; b) el desmentido experiencial; y c) la información de las disposiciones para la acción. También trabaja con tres focos terapéuticos durante los cuales el terapeuta utiliza la interacción, para evaluar el “esquema interpersonal”, asumiendo una posición de “observador participante” con lo que se convierte en una fuente propia de evaluación:

- Foco 1: Fuera de la sesión.
- Foco 2: Dentro de la sesión.
- Foco 3: Exploración de las disposiciones para la acción.

Se introdujo el libro dentro del foco dos, comunicando nuestros propios sentimientos y pensamientos surgidos a partir del libro infantil, para que posteriormente el paciente comunicara los suyos.

Retomando a Cristina Deberti, nos propusimos el reto de llevar a cabo la intervención en dos grupos de sujetos con problemas de adicción, mismos que pertenecen a dos clínicas en la Ciudad de Querétaro; esta vez con literatura infantil y a través de las dos metodologías ya mencionadas.

Metodología

La metodología de esta investigación tiene un enfoque de tipo cualitativo. Se eligió esta metodología debido a la importancia de reconocer los efectos subjetivos y emocionales que pueden

presentarse en esta población al introducir el libro infantil como una nueva herramienta en la intervención psicoanalítica y en la intervención cognitivo-conductual en adicciones.

Se diseñó un cuestionario autodilucidado que nos permitió diseñar las sesiones grupales y se realizó una lectura de alrededor de treinta libros infantiles, además de los ya conocidos por las investigadoras, para tener una base de datos donde haya información sobre los títulos posibles a utilizar y la reséctova temática abordada en ellos. Una vez obtenidas las respuestas de los cuestionarios, las respuestas fueron organizadas en rubros como salud física, salud mental, desempeño estudiantil o laboral, relaciones con los otros, relación con el consumo, relación con la lectura y finalmente, temáticas a trabajar. Con la información recogida y organizada, se eligieron previamente temáticas y se llevaron libros infantiles relacionados con éstas, con el objetivo de que los pacientes hablaran sobre aquello que les decían las historias. Se llevaron a cabo las diez sesiones en las respectivas clínicas donde los pacientes se someten a su proceso de rehabilitación.

Al finalizar las diez sesiones, se planea realizar una última sesión de cierre donde se hable con los pacientes, en el que se haga un pequeño recuento sobre lo hablado durante el desarrollo de la intervención. Para el trabajo de campo, fue necesario realizar cartas de consentimiento informado tanto para las clínicas con las que se trabajó, como para los participantes del grupo terapéutico.

Resultados

Resultados de cuestionario inicial:

A continuación, presentamos los datos obtenidos por dos clínicas de atención privada del estado de Querétaro. En la clínica A, obtuvimos respuestas de una población de 24 personas, todos varones; mientras que en la clínica B, obtuvimos respuestas de 23 personas, que correspondió a un grupo mixto.

Grupo A

De acuerdo con los resultados, el promedio de edad de inicio de consumo de drogas lícitas es 13.05 años, en cuanto a drogas ilícitas es de 15.35 años. Ahora

bien, el promedio de edad en el que se encontraban en rehabilitación, fue el siguiente: para el grupo A, de 28.83 años, donde la edad menor fue de 14 años; mientras que la mayor fue de 61. Las drogas más utilizadas son cristal, alcohol y marihuana. 14 participantes manifestaron estar por primera vez en tratamiento, 6 manifestaron que “no”. Aquellos que respondieron negativamente, mencionaron haber estado hasta 6 veces ya en tratamiento anteriormente. Las áreas que los participantes de la clínica A manifiestan haber sido afectadas por su consumo, donde la relación familiar es la más afectada, le siguen la salud física, las relaciones sociales y el desempeño laboral o estudiantil.

Sobre su forma de vida, más de la mitad de los participantes manifestaron vivir con sus padres; mientras que el resto mencionaron vivir solos o con hijos. Acerca de su grado de estudios, la mayor parte de los participantes del grupo tienen como último grado la secundaria, le siguen primaria y preparatoria.

Los participantes mencionaron que las causas de su primer consumo fueron en su mayoría a través de amigos o familiares, usualmente en fiestas o por curiosidad. Finalmente, fue importante para nosotras conocer su relación con la lectura. Cuando se preguntó sobre si se les había leído de niños, fueron más las respuestas a “no” que a “sí”; sin embargo, aquellos que respondieron afirmativamente, mencionaron que fueron figuras maternas en lugar de figuras paternas quienes les leyeron. Al preguntar qué leen, obtuvimos respuestas como: acción, revistas de ciencia, la biblia, novelas, ciencia ficción, sobre salud y alimentación, aprendizaje personal, noticias, historietas, deportes, libros históricos y sobre AA.

Grupo B

De acuerdo con los resultados, el promedio de edad de inicio de consumo de drogas lícitas es 15.77 años; en cuanto a drogas ilícitas es de 16.2 años. El promedio de edad en el que se encontraban en rehabilitación, para este grupo fue de 26.46 años; la edad menor fue de 14 años, mientras que la mayor fue de 47 años. Las drogas más utilizadas por este

grupo son alcohol, cristal y marihuana. 11 participantes manifestaron estar por primera vez en tratamiento; 12 que no. Estos últimos mencionaron haber estado hasta cinco veces ya en tratamiento anteriormente. Las áreas que los participantes de la clínica B manifiestan haber sido afectadas por su consumo fueron, en primer lugar, la relación familiar, seguida por las relaciones sociales, el desempeño laboral o estudiantil y la salud física; la salud mental y la relación con la pareja las menos mencionadas.

Sobre su forma de vida más de la mitad de los participantes manifestaron vivir con sus padres; mientras que el resto mencionaron vivir con su pareja e hijos, solos o con la pareja únicamente. Acerca de su último grado de estudios, la mayor parte de los participantes cuenta con la secundaria o la preparatoria; seguidos por la licenciatura y sólo dos de ellos, la primaria. Los participantes mencionaron que la causa de su primer consumo fue a través de amigos o familiares, en fiestas o por curiosidad; solo uno respondió que buscó sentirse aceptado en su círculo social. Finalmente, fue importante para nosotras conocer su relación con la lectura. Cuando se preguntó sobre si se les había leído de niños, fueron más las respuestas a “sí” que a “no”; aquellos que respondieron afirmativamente, mencionaron que fue la madre, ambos padres, abuelas, tías o profesores quienes les leyeron. En relación a lo que leen, obtuvimos respuestas de los siguientes géneros: física, terror, ciencia ficción, la biblia, sobre el espacio, superación personal, investigaciones, leyendas, mitos, psicoanálisis, filosofía, psicología, historia, metafísica, cultura, espiritualidad, noticias, novelas y autoayuda.

Comparación entre grupos

Comparando los resultados de ambos grupos en los cuestionarios iniciales, notamos que el grupo de la clínica A tuvo un promedio menor de edad de inicio de consumo tanto en drogas lícitas como ilícitas; en la primera de dos años y en la segunda de un año de diferencia con el grupo de la clínica B.

Se reconoce que en ambos grupos la edad menor es de 14 años; y se observa, además, que la diferencia

de dos años entre el grupo A y el grupo B podría deberse a que en el primer grupo, existen participantes cuyas edades en el grupo B son mayores que en las del A. También se menciona que las edades más repetidas para el grupo A fueron 19 y 20 años, mientras que en el grupo fue 23 años de edad.

Los grupos coinciden en las drogas más comúnmente probadas: en primeros lugares se encuentran la marihuana, el cristal, la cocaína y la piedra. Las drogas frecuentemente consumidas por ambos grupos coinciden con el alcohol, el tabaco, la marihuana y el cristal.

Ambos grupos también coinciden en las razones del primer acercamiento a la droga: por amigos o familiares, en fiestas o por curiosidad. De igual manera, las áreas más afectadas para ambos grupos son las relaciones familiares, las relaciones sociales y el desempeño laboral o estudiantil.

En ambos grupos fueron más los participantes que se encontraban por primera vez en rehabilitación. Sus razones a pesar de ser para algunos de los participantes del grupo A, la entrada de manera involuntaria, se menciona en ambos grupos el mejorar las relaciones familiares, encontrar cambios en ellos mismos y dejar de consumir. Sus expectativas en el tratamiento se veían precisamente dirigidas a mejorar sus relaciones familiares, dejar de consumir y mejorar su desempeño físico.

Por último, el grupo A estaba integrado por más participantes a quienes no se les leyó de niños, mientras que en el grupo B, más a quienes sí. En cada grupo, se mencionó a las figuras femeninas tales como la madre, la abuela, la tía o hermana con mayor frecuencia que a figuras masculinas como los agentes lectores.

Análisis general de las sesiones

Sesión 1	Madre y padre, relación familiar con cuidadores
Libros	<i>Mi mamá y Mi papá</i> de Anthony Brown
Sesión 2	¿Quién soy? ¿qué me gusta ver en mí y qué no? ¿qué del libro me recuerda a

Libros	mí? <i>A veces</i> de Claudia Rueda. <i>Ser y parecer</i> , de Isol.
Sesión 3	Hablar sobre la locura
Libros	<i>Greta la loca</i> de Geert de Kockere
Sesión 4	Hablar sobre la angustia y la preocupación
Libros	<i>El Árbol Rojo</i> , de Shaun Tan y <i>¿Qué tal sí?</i> , de Anthony Brown
Sesión 5	Hablar sobre amistad y amor
Libros	<i>La vida sin Santi</i> , de Andrea Maturana. <i>Enamorados</i> , de Rébecca Dautremer
Sesión 6	Hablar sobre pérdida y muerte
Libros	<i>El pato y la muerte</i> , de Wolf Erlbruch. <i>Nana Vieja</i> , de Margaret Wild.
Sesión 7	Retomar lo hablado en las sesiones 1 y 2, para hablar sobre cómo se veían, cómo se ven y cómo quieren verse.
Sesión 8	Retomar lo hablado en la sesión 3 y 4, para hablar sobre formas de vivir, pensarse en espacios agradables para ellos, pensarse en el exterior antes de la rehabilitación y ahora que están en ella.
Libros	<i>Camino a casa</i> , de Jairo Buitrago
Sesión 9	Retomar lo hablado en las sesiones 5 y 6, para hablar de sus relaciones con los otros, pensarse como pareja y amigos, y sobre aquello que quieren cambiar. Además, pensar en la vida como un proceso, donde han aprendido de otros, han enseñado y enseñarán a otros.
Libros	<i>De vuelta a casa</i> , de Oliver Jeffers, <i>Jack y la muerte</i> , de Tim Bowley y Natalie Pudalov.
Sesión 10	Retomar la actividad final de la sesión nueve, responder cuestionarios finales, despedirnos con libros que hablen sobre ello.
Libros	<i>Bandada</i> , David Daniel Álvarez y María Julia Díaz Garrido. <i>Si yo fuera grande y</i>

	<i>fuerte</i> , de Agnés Laroche. <i>Es así</i> , Paloma Valdivia
--	---

Tabla 1. Temáticas y libros trabajados en las sesiones. Grupo A. Fuente: elaboración propia.

Análisis general de las sesiones:

Durante las sesiones, los participantes hablaron de las relaciones que en el pasado y presente tienen con sus padres, madres, hermanos, amigos y parejas, además de cómo les gustará que sea en el futuro. También se habló sobre la importancia que tiene mirarse en el espejo y las diferencias que han notado de su imagen cuando las consumían y cuando las dejaron. Se dieron cuenta que sus relatos eran parecidos a los de sus otros compañeros. De igual manera, hablaron sobre aquello que los hacía sentir tristes y angustiados, sobre la experiencia dentro de rehabilitación y sus expectativas al salir de ella. Además, hablaron sobre su experiencia ante la muerte y su perspectiva de ella. Por último, se crearon actividades en las que los participantes hablaron sobre sus formas de vida, donde lograron pensarse en el exterior tras la rehabilitación. Cuando nosotras lo veíamos necesario, se utilizaron preguntas detonadoras, para profundizar en lo que los participantes compartían.

Análisis general de las sesiones

Sesión 1	Hablar sobre amor y pareja
Libros	<i>La vida sin Santi</i> , de Andrea Maturana. <i>Enamorados</i> , de Rébecca Dautremer
Sesión 2	¿Quién soy?, ¿qué de los libros me identifica?
Libros	<i>A veces</i> , de Claudia Rueda. <i>Ser y parecer</i> , de Isol.
Sesión 3	Hablar sobre el grupo y su relación, el trabajo en conjunto, y sus roles dentro de él.
Libros	<i>Sencillamente tú</i> , Heinz Janisch. <i>Yo voto por mí</i> , Martin Baltscheit.
Sesión 4	Hablar sobre la angustia y la ansiedad
Libros	<i>El árbol rojo</i> , de Shaun Tan. <i>La cabeza en la bolsa</i> , de Francisco Segovia y Marjorie Pourchet

Sesión 5	El duelo y la pérdida. <i>El pato y la muerte</i> , Wolf Erlbruch. <i>Es así</i> , Paloma Valdivia.
Sesión 6	Hablar sobre la relación con los otros, sobre el cuerpo y sobre el bullying. <i>Juul</i> , Gregie de Maeyer y Koen Vanmechelen.
Sesión 7	Hablar sobre la familia y los cuidadores principales. <i>Ahora no</i> , Bernardo de David McKee. <i>Imposible</i> de Isol.
Sesión 8	Hablar sobre la ansiedad por el futuro. <i>Camino a casa</i> , Jairo Buitrago. <i>Los días raros</i> , de María Fernanda Heredia y Roger Ycaza.
Sesión 9	Hablar sobre lo que sueñan ser, sus deseos para el futuro y su futuro propio. <i>Willy el soñador</i> , de Anthony Brown. <i>El domador de sueños</i> , Nicolai Troshinsky
Sesión 10	Realizar cuestionarios finales, despedirnos con los cuentos. <i>La pregunta del elefante</i> , Leen van den Berg. <i>De vuelta a casa</i> , Oliver Jeffers.

Tabla 2. Temáticas y libros trabajados en las sesiones. Grupo B. Fuente: elaboración propia.

Análisis general de las sesiones:

Durante las sesiones, los participantes expresaron sobre sus relaciones de pareja, su relación con los otros, el cuerpo y su experiencia con el *bullying*; además de su relación como grupo y las problemáticas que enfrentan dentro del centro de rehabilitación, así como la importancia de la comunicación dentro del mismo. Los participantes también hablaron sobre su relación con su familia, tanto como hijos e hijas, como padres o madres. Mencionaron qué les causa angustia y ansiedad, su experiencia ante la muerte y su perspectiva de ella. Finalmente, se trató el tema sobre el futuro, sus metas a seguir y sus planes tras salir de rehabilitación. Se utilizaron preguntas detonadoras

en ciertos momentos para profundizar en lo que los participantes compartían.

Resultados de cuestionario final

Para el término del grupo, se realizó un cuestionario final. Este fue hecho en su mayoría, a través de preguntas abiertas. Se diseñaron dos cuestionarios, uno para aquellos pacientes que tenían menos de 5 sesiones y otro para aquellos que estuvieron 5 o más; esto debido a que durante las intervenciones algunos pacientes llegaron no al inicio sino una vez iniciadas.

Los participantes del grupo A que fueron considerados nuevos, estuvieron entre 1 y 4 sesiones. Las áreas que mencionaron tener cambios fueron la salud mental y las relaciones sociales en su mayoría, le siguen la salud mental, las relaciones familiares y el desempeño laboral o estudiantil; en una ocasión, la autoestima. La gran mayoría mencionaron que recomendarían la literatura infantil ya que les ayudó, les recordó su niñez, les dio apoyo psicológico, les permitió cultivar su conciencia, mejoró su forma de ver cómo se relacionan con los demás o a valorar la vida. Aquellos que no respondieron afirmativamente, tampoco respondieron nada.

En cuanto al cuestionario aplicado a los participantes que pasaron más tiempo en la intervención, el número de sesiones fue entre cinco, siete y diez, (en su mayoría, acudieron a esta cantidad de sesiones). La mayor parte de los participantes mencionaron ver cambios en sus relaciones familiares y relaciones sociales; aunque también expresaron que hubo cambios en ellos mismos. En cuanto a las relaciones de pareja, mencionaron detectar cambios pero no saberlo con certeza ya que no tenían pareja o no habían podido estar en contacto con ella. Con respecto a su consumo: la mayoría sintió un cambio, hubo algunos que no estaban seguros ya que manifestaron necesitar salir de la clínica para comprobarlo. En cuanto a la literatura, todos mencionaron que la recomendarían a personas que han pasado por el consumo. Además, en su mayoría les gustaría continuar leyendo libros infantiles y compartirlos con otros.

Solo tres participantes del grupo B fueron considerados como pacientes nuevos; el número de sesiones fue entre 2 y 3. Las áreas con mayores cambios mencionadas fueron salud física y mental, relaciones familiares y de pareja. Los tres mencionaron que sí recomendarían la lectura a personas que han pasado por el consumo ya que puede permitir a otros analizar lo que está mal en sus vidas, puede ayudar en su recuperación y de manera psicológica.

Sobre los participantes con más tiempo en el grupo B, el número de sesiones tomadas estuvo entre 5, 6, 8 y 10 (esta última sesión fue la más asistida). Las áreas en las que más se mencionó tener cambios fueron las relaciones familiares y consigo mismos; aunque también mencionaron detectar cambios en su relación con amigos y pareja. En cuanto a su consumo, la mayoría de ellos mencionaron detectar cambios; sólo dos respondieron que no y uno de ellos externó que necesita salir de rehabilitación con el fin de comprobarlo. Todos, a excepción de una persona (quien no respondió esa pregunta), recomendarían la literatura infantil a personas que han pasado por el consumo. Además, en su mayoría les gustaría continuar leyendo libros infantiles y compartirlos con otros.

Discusión y conclusiones

Los resultados del cuestionario inicial arrojaron que los principales motivos de iniciación se presentaron a través de las fiestas, por curiosidad, y con familia o amigos. En cuanto a las drogas más utilizadas: el alcohol, la marihuana y el cristal en ambos grupos. La información coincide con respecto al factor de la curiosidad, de acuerdo con la investigación realizada por Sánchez Huesca y Fernández Cáceres (2014), en los Centros de Integración Juvenil en México. En esta, la población investigada constó de 24 728 usuarios de drogas, y sus resultados arrojan que: “Tanto hombres como mujeres reportan como principal motivo de iniciación la curiosidad, entendible si ubicamos que estarían en pleno periodo adolescente, caracterizado, entre otras expresiones conductuales, por una búsqueda de nuevas experiencias. Es importante notar que las drogas socialmente aceptadas y por tanto fácilmente

asequibles –tabaco y alcohol–, son las principales sustancias de inicio. La disponibilidad es uno de los factores básicos asociados al consumo” (p. 22). Si bien, en nuestra investigación, el cristal es una de las drogas más frecuentes, creemos que esto es posible, debido a que ahora, la disponibilidad de la misma es mayor en comparación con el año en que se realizó la investigación mencionada. Estos resultados muestran que la disponibilidad también tiene relación con el círculo cercano familiar y social; la forma en que el uso de estas drogas es visto en el contexto de los participantes.

Durante las sesiones una temática constante era la relacionada con el funcionamiento a nivel institucional y cómo es que éste influía en el proceso de rehabilitación de los pacientes de ambas clínicas. Las actividades durante el proceso de rehabilitación, las personas que están a cargo de éstas y la rutina diaria son algunos de los factores que fueron mencionados en ambos grupos; a pesar de tratarse de dos instituciones distintas, con metodologías distintas, estos resultados arrojan que la manera en que es llevado el proceso de tratamiento influye en la rehabilitación.

A través de ambas intervenciones, logramos dar cuenta que, a pesar de tener libros planeados para cada sesión cuyas lecturas estaban apoyadas de los cuestionarios iniciales, fue necesario (como puede apreciarse si se comparan los libros utilizados en cada grupo), modificar y repensar qué libros y en qué momentos serían adecuados para implementarlos en determinadas sesiones. Lo anterior debido a que debíamos considerar como otro factor, las relaciones que se forman entre ellos y cómo es que éstas tienen que ver con la entrada, permanencia y salida de cada participante.

De acuerdo con lo hablado por los participantes en las sesiones, el grupo A mencionó en distintas ocasiones que su vida se relacionaba con la de los personajes de las historias, lo que les permitía pensar en las diferencias y semejanzas que tenían con ellos, y así poder hablar de su vida reflejada en la de los demás. En las ocasiones en las que los participantes

no se identificaban con los personajes o las historias, el libro era utilizado como puente para hablar sobre su experiencia en el consumo, antes, durante y después de él.

En cuanto al grupo B, los participantes mencionaron identificarse con los personajes de las historias, con lo que decían y sentían e incluso con lo que vivían. Así, lograron hablar sobre su propia experiencia en determinados ámbitos de sus vidas. El libro infantil, funcionó para este grupo, como un puente para hablar sobre las problemáticas que existían entre ellos y cómo es que estas afectaron su forma de relacionarse y en su proceso de rehabilitación.

Referencias bibliográficas

- Deberti, C. (2007). La biblioterapia aplicada a pacientes con consumo problemático de sustancias psicoactivas. *Revista Itinerario*, 7. <https://itinerario.psico.edu.uy/revista%20anterior/LabiblioterapiaaplicadaapacientesconConsumoproblematicodesustancias.htm>
- Hernández, N., & Sánchez, J. (2007). *Manual de la psicoterapia cognitivo-conductual para trastornos de la salud*. Libros en Red. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EzlwZg_aH6AC&oi=fnd&pg=PA9&dq=metodolog%C3%ADa+cognitivo+conductual&ots=VMna6nxTpS&sig=XF5Bh0eotmPy8O3GY9pre-8M8HI#v=onepage&q=metodolog%C3%ADa%20cognitivo%20conductual&f=false
- Iturbide, L. (2016). *El Método Psicoanalítico en: Psicología Dinámica*. Universidad de Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/13438/mod_resource/content/1/EI%20m%C3%A9todo%20psicoanal%C3%ADtico%20de%20Freud%20%28texto%29.pdf
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Universidad Surcolombiana, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas.
- Osuna, M., & Rodríguez, J. (2004). Aportaciones de la psicología dinámica a los grupos: su utilidad en el trabajo con equipos educativos. *Educación Social: revista de intervención socioeducativa Barcelona*, 27, p. 169-177. https://www.researchgate.net/publication/39208707_Aportaciones_de_la_psicologia_dinamica_a_los_grupos_su_utilidad_en_el_trabajo_con_equipos_educativos
- Prado, J., García, J., & Sánchez, S. (2013). Funcionamiento de la terapia cognitivo-interpersonal en los trastornos de la personalidad: estudio de dos casos. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 18(2), p. 139-149.
- Safran, J., & Segal, Z. (1994). *El proceso interpersonal en la terapia cognitiva*. Paidós.
- Sánchez, R., & Fernández, M. (2014). El perfil de los consumidores de drogas. *Revista Ciencia*, 65, p. 18-25. https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/65_1/PDF/PerfilUsuarios.pdf
- Wilfred, B. (1961). *Experiencias en grupos*. Paidós.

Fisiología poscosecha de tomates orgánicos y convencionales

Carolina N. Reséndiz Nava^{1a}, María G. Rendón Ducoing^{2a}, Ángel R. Flores Sosa^{3a}, Gerardo M. Nava^{4a}, Ma. E. Vázquez Barrios^{5a}, Dulce M. Rivera Pastrana^{6a}, Fernando Alonso Onofre^{7b}, Edmundo M. Mercado Silva^{8a}

^aDepartamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro.

^bCentro Universitario CEICKOR.

¹carolina.resendiz.90@gmail.com; ²lupitarendon1997@gmail.com; ³angel_ramon08@hotmail.com; ⁴gerardomnava@gmail.com;

⁵mevazquez@uaq.edu.mx;

⁶dulceriverap@gmail.com;

⁷fernando.alonso@centrouniversitarioceickor.edu.mx; ⁸mercado501120@gmail.com

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más comercializada a nivel mundial. En México, 20 % de la producción nacional se produce bajo cultivos hidropónicos, ya sea bajo sistemas de producción convencional u orgánico. La producción de tomate orgánico se ha triplicado en la última década debido a la demanda de los consumidores por alimentos más saludables y sostenibles. Sin embargo, existe escasa información acerca de la fisiología poscosecha y la vida de anaquel de tomates producidos en sistemas de cultivo convencional y orgánico. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento poscosecha de tomates (cv. *Merlice*) cultivados en sistemas hidropónicos convencionales y orgánicos durante su almacenamiento por 16 días a 12 °C. Al final del periodo de almacenamiento, los tomates convencionales y orgánicos presentaron índices de color (a^*) comparables. Sin embargo, el porcentaje de pérdida de peso fue mayor en tomate orgánico que en el convencional (5 % y 2 %, respectivamente) al igual que la pérdida de firmeza (48 % y 27 %, respectivamente). Los resultados obtenidos indicaron que el tomate hidropónico orgánico posee menor vida de anaquel que los frutos del sistema hidropónico convencional. Estas diferencias podrían estar asociadas a una mayor tasa de respiración, transpiración y actividad de enzimas degradadoras de pared celular en los frutos orgánicos. Esta información puede servir como un marco de referencia para establecer estrategias pre y poscosecha para aumentar la vida de anaquel de los frutos orgánicos.

Palabras clave: hidroponía, orgánico, poscosecha, tomate.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the second most traded vegetable worldwide. In Mexico, 20% of the national production is produced under hydroponic crops, either under conventional or organic production systems. Organic tomato production has tripled in the last decade due to consumer demand for healthier and more sustainable food. However, there is scarce information about postharvest physiology and shelf life of tomatoes produced in conventional and organic farming systems. The objective of this work was to study the postharvest behavior of tomatoes (cv. *Merlice*) grown in conventional and organic hydroponic systems during storage for 16 days at 12 °C. At the end of the storage period, conventional and organic tomatoes showed comparable color indices (a^*). However, the percentage of weight loss was higher in organic tomatoes than in conventional tomatoes (5 % and 2 %, respectively) as was the loss of firmness (48 % and 27 %, respectively). The results obtained indicated that the organic hydroponic tomato has a shorter shelf life than fruits from the conventional hydroponic system. These differences could be associated with a higher rate of respiration, transpiration and cell wall degrading enzyme activity in organic fruits. This information can serve as a frame of reference to establish pre- and postharvest strategies to increase the shelf life of organic fruit.

Key words: hydroponic, organic, postharvest, tomato

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la segunda hortaliza más comercializada a nivel mundial; anualmente se producen ~182 millones de toneladas de frutos de tomate (FAOSTAT, 2019; Quinet et al., 2019). En México, el tomate es la hortaliza de mayor producción; se estima que, en promedio, se cosechan ~3.5 millones de toneladas anualmente (SIAP, 2020). Actualmente, ~20 % de la producción nacional, se lleva a cabo en cultivos hidropónicos, ya sea bajo sistemas de cultivo convencionales u orgánicos (AMHPAC, 2018).

Los sistemas de producción orgánicos, a diferencia de los convencionales, no permiten el uso de fertilizantes, pesticidas, ni herbicidas químicos sintéticos (Araujo & Telhado, 2015); con lo que se pretende disminuir la contaminación de los mantos freáticos y suelo, así como mejorar la salud de los consumidores (Araujo & Telhado, 2015).

A nivel mundial, la producción de tomates orgánicos se ha triplicado en la última década (Araujo & Telhado, 2015). En México, la producción anual promedio de tomates orgánicos es de ~17 mil toneladas (CEDRSSA, 2015); con esto, se coloca como la hortaliza orgánica de mayor producción en el país.

El aumento en la demanda y producción de frutos orgánicos se debe principalmente a la exigencia de los consumidores por adquirir alimentos más saludables y sustentables (Araujo & Telhado, 2015). Sin embargo, diversos estudios han documentado que las diferencias en el manejo precosecha en los sistemas de producción convencional y orgánico impactan el rendimiento y la calidad poscosecha de los frutos (Ronga et al., 2015). Por ejemplo, se ha demostrado que el sistema de producción de tomate orgánico tiene de 16 % a 60 % menor rendimiento que el sistema de producción convencional (Mubarok et al., 2019; Ronga et al., 2015).

Algunos reportes revelan que los frutos producidos bajo los sistemas convencionales y orgánicos poseen valor nutricional comparable; esto es, niveles de β -caroteno, licopeno, ácido ascórbico y compuestos fenólicos (Kapoulas, Ilić, Đurovka, Trajković, & Milenković, 2011; Mubarok et al., 2019). Sin embargo, existe limitada evidencia acerca de la calidad y la fisiología poscosecha durante el almacenamiento de tomates cultivados en sistemas de producción hidropónico convencional y orgánico. Esta información es fundamental para estimar el valor comercial y establecer estrategias para alargar la vida de anaquel de estos frutos. A saber, la vida de anaquel del tomate está determinada por cambios fisiológicos en el fruto como la pérdida de la firmeza, pérdida de peso y la evolución del color. La alteración de estos parámetros disminuye el valor comercial de los frutos (Salas Méndez et al., 2019).

Para comparar la fisiología y vida de anaquel de tomates producidos en sistemas hidropónicos convencionales y orgánicos, el presente trabajo evaluó la evolución del color, la pérdida de peso y la disminución de firmeza, de frutos de tomate durante 16 días de almacenamiento a 12 °C.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

Los frutos de tomate fueron recolectados de invernaderos ubicados en el Centro de Investigación y Capacitación Koppert Rapel en el Municipio de Colón, Querétaro. (20°42'22.5"N 99°56'27.6"W). Se cosecharon ~100 racimos de tomate cv. *Merlice*, de sistemas convencional y orgánico. Se seleccionaron los racimos con frutos en estado de madurez 3 (*turning*), de acuerdo con el índice de color de la USDA (USDA, 1991). Los frutos se almacenaron por 24 h a 12 °C para retirar el calor de campo. Los frutos seleccionados de cada sistema de producción (n = 45, por grupo) se pesaron individualmente y se almacenaron a 12 °C. La evaluación de la fisiología poscosecha se realizó a los días 0, 4, 8, 12 y 16 (n = 9/día/grupo) de almacenamiento continuo a 12 °C. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Evaluación de color

Se realizó la medición de color en tres puntos del diámetro ecuatorial de cada fruto, empleando un espectrofotómetro de reflectancia Konica Minolta modelo 600d (Osaka, Japón). El valor de a^* se registró para analizar el cambio de color rojo de los frutos de tomate durante los días de almacenamiento.

Evaluación de la pérdida de peso y firmeza

Los frutos se pesaron cada 4 días para determinar el porcentaje de pérdida de peso (%PP) mediante la siguiente fórmula:

$$\%PP = (W_i - W_f) / W_i * 100$$

Donde W_i es el peso inicial del fruto y W_f es el peso final en cada periodo de muestreo (Salas Méndez et al., 2019).

La firmeza de los frutos se evaluó mediante pruebas de compresión empleando un texturómetro Brookfield CT3 (MA., EE.UU.). Cada tomate se colocó de tal forma que la sonda del texturómetro penetrara, de manera perpendicular, el eje longitudinal del fruto. Se empleó una sonda cilíndrica de acrílico de 50.8 mm de diámetro y 2 cm de altura, viajando a una velocidad de 1 mm·s⁻¹; así, se obtuvo el registro de la fuerza necesaria hasta alcanzar una deformación en la altura de la muestra del 10 %. Los resultados de firmeza se expresaron en Newtons (N).

Análisis estadístico

El diseño experimental consistió de un solo factor (sistema de cultivo) con dos tratamientos, sistema de producción convencional y orgánico. Las variables respuesta se midieron por triplicado. Los datos fueron evaluados por un ANOVA; cuando se registraron diferencias significativas, se realizó una comparación de medias con la prueba t de *student*, con un valor de significancia $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa StatView 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de la fisiología poscosecha de frutos convencionales y orgánicos, reveló que al final del almacenamiento a 12 °C (16 días), no se observaron diferencias ($p > 0.05$) en la evolución del color rojo, expresado como índice a^* (Figuras 1 y 2). Al día 8 de almacenamiento, se observó mayor ($p < 0.05$) índice de color rojo en los frutos orgánicos, lo que sugiere un aumento en la tasa de maduración del fruto (Salas Méndez et al., 2019). Estos resultados contrastan con las observaciones de color reportadas para el cultivar *Vesuvian Piennolo* (Caruso et al., 2019); con esto se sugiere que los tomates orgánicos poseen menor índice de color rojo. Hasta nuestro mejor conocimiento, este es el primer reporte de la evolución del color de tomates cosechados en sistemas hidropónicos convencionales y orgánicos, durante su almacenamiento poscosecha.

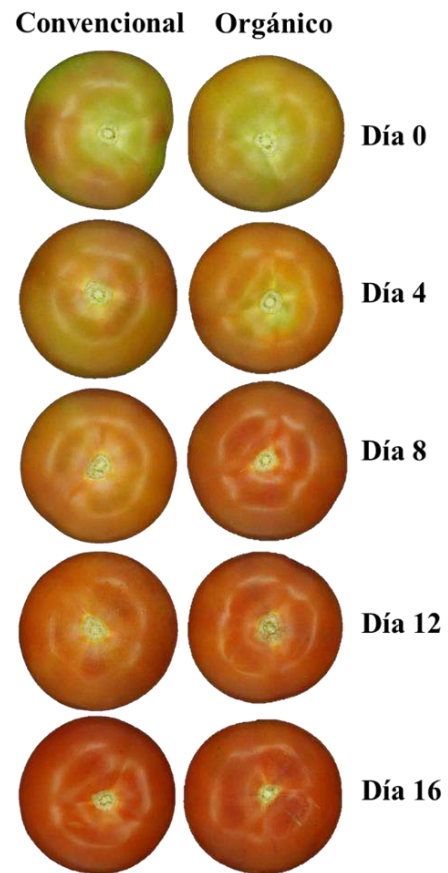


Figura 1. Apariencia visual de tomates cv. *Merlice*. Frutos cosechados de los sistemas hidropónicos convencional y orgánico,

durante el almacenamiento poscosecha durante 16 días a 12 °C. Fuente: Elaboración propia.

La pérdida fisiológica de peso durante el almacenamiento de los frutos es consecuencia de la disminución en el contenido de agua, debido al proceso de transpiración de los frutos (Salas Méndez et al., 2019). Este parámetro es considerado uno de los principales indicadores para evaluar la calidad comercial de los frutos de tomate (Salas Méndez et al., 2019). El presente trabajo reveló que, al día 16 de almacenamiento, los tomates orgánicos perdieron 2.5 veces más peso ($p < 0.05$) que los frutos del sistema convencional (Figura 3A). Frutos con pérdidas de peso $>5\%$ se consideran de calidad comercial no aceptable (Salas Méndez et al., 2019). Basado en este parámetro comercial, la vida de anaquel estimada de los tomates orgánicos cv. *Merlice* fue de 16 días, a partir de la cosecha de los frutos en estado de madurez 3 (*turning*).

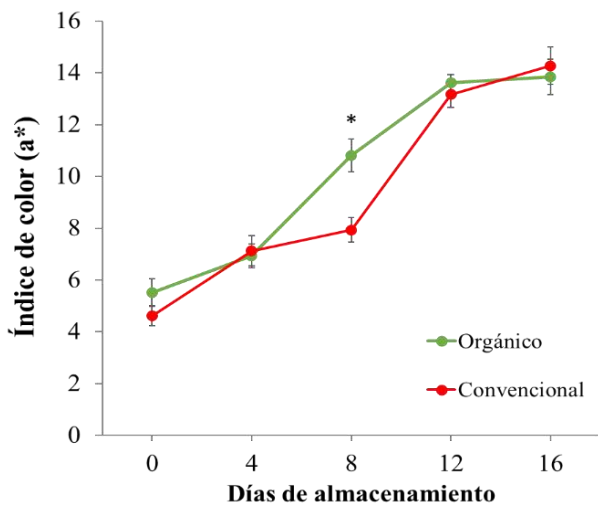


Figura 2. Evolución del color rojo (a^*) durante el almacenamiento poscosecha de tomate hidropónico orgánico y convencional. Los datos se presentan como medias \pm error estándar ($n = 9/\text{día/grupo}$). El asterisco (*) indica diferencias significativas: prueba t de *student* ($P < 0.05$). Fuente: Elaboración propia.

La firmeza de los frutos de tomate disminuye durante el almacenamiento poscosecha, condición asociada al aumento de la pérdida de peso (Salas Méndez et al., 2019). Esta condición se observó al final del periodo de almacenamiento (16 días); el tomate convencional tuvo una disminución, en promedio, del 27 % en la firmeza; mientras que, en los tomates orgánicos, la firmeza disminuyó, en

promedio, 48 % (Figura 3B). Estos resultados indican que los tomates producidos en el sistema orgánico poseen una menor vida de anaquel.

La pérdida de peso y la disminución de la firmeza de los frutos durante el almacenamiento están asociadas a un aumento en las tasas de respiración, transpiración y actividad de enzimas de degradación de pared celular (Salas Méndez et al., 2019). Estos procesos fisiológicos están asociados con la respuesta a diferentes tipos de estrés tales como déficit de nutrientes, de agua, ataque de fitopatógenos, y alta concentración de sales (Le Gall et al., 2015).

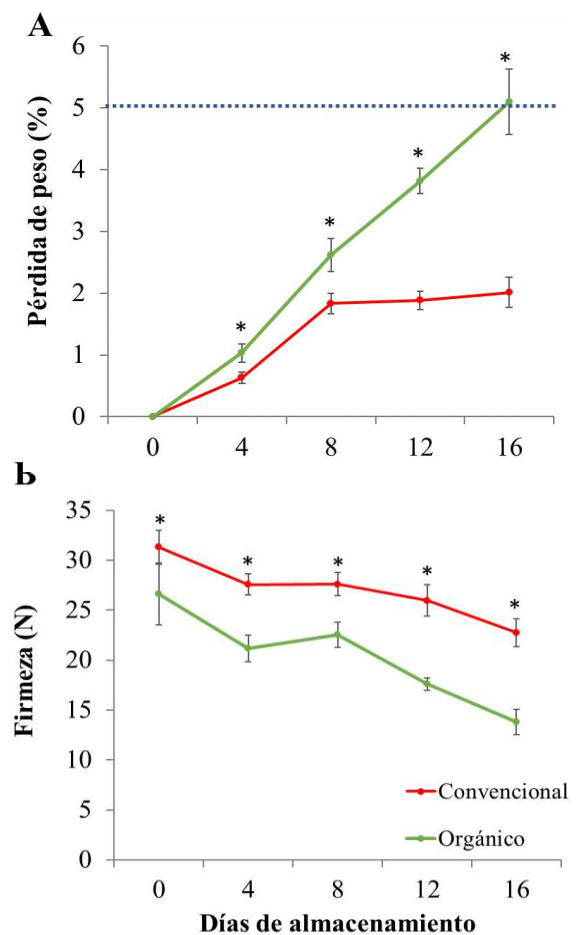


Figura 3. Evolución de la pérdida fisiológica de peso (3A) y disminución de la firmeza (3B) durante el almacenamiento de tomate orgánico y convencional. La línea punteada azul (3A) indica el valor de referencia (5% de pérdida de peso) correspondiente a calidad comercial no aceptable de los frutos. Los datos se presentan como medias \pm error estándar ($n = 9/\text{día/grupo}$). Los asteriscos (*) indican

diferencias significativas: prueba *t* de *student* ($P < 0.05$) ($n = 9$). Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

Los estudios de calidad y fisiología poscosecha de frutos de tomate procedentes de invernaderos hidropónicos revelaron que los tomates orgánicos pueden perder su valor comercial más rápidamente y, en consecuencia, acortar su vida de anaquel. Estos resultados destacan la necesidad de desarrollar estrategias pre y poscosecha para solucionar este problema en la producción de frutos de tomate en sistemas de producción hidropónicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Mexicana de Horticultura Protegida AC (AMHPAC). (s.f.). *Agricultura Protegida en México*. Recuperado el 24 de octubre de 2021 de <http://amhpac.org/2018/images/PDFoficial/HorticulturaenMexico.pdf>
- Araujo, J. C., & Telhado, S. F. P. (2015). Organic Food: A Comparative Study of the Effect of Tomato Cultivars and Cultivation Conditions on the Physico-Chemical Properties. *Foods*, 4(3), 263-270. <https://doi.org/10.3390/foods4030263>
- Caruso, G., De Pascale, S., Cozzolino, E., Cuciniello, A., Cenvinzo, V., Bonini, P., & Roupael, Y. (2019). Yield and Nutritional Quality of Vesuvian Piennolo Tomato PDO as Affected by Farming System and Biostimulant Application. *Agronomy*, 9(9), 505. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090505>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2015). *Productos Orgánicos en México*. Recuperado el 24 de octubre de 2021 de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/97Productos%20orgánicos%20en%20México.pdf>
- Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). (2019). Disponible en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Kapoulas, N., Ilić, Z. S., Đurovka, M., Trajković, R., & Milenković, L. (2011). Effect of organic and conventional production practices on nutritional value and antioxidant activity of tomatoes. *African Journal of Biotechnology*, 10(71), 15938-15945. <https://doi.org/10.5897/AJB11.984>
- Le Gall, H., Philippe, F., Domon, J. M., Gillet, F., Pelloux, J., & Rayon, C. (2015). Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress. *Plants (Basel, Switzerland)*, 4(1), 112-166. <https://doi.org/10.3390/plants4010112>
- Mubarok, S., Farhah, F. F., Anas, Suwali, N., Kurnia, D., Kusumiyati, ... Ezura, H. (2019). Data on the yield and quality of organically hybrids of tropical tomato fruits at two stages of fruit maturation. *Data in Brief*, 25, 104031. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104031>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste Lisbona, F. J., Blanchard Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1554. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Ronga, D., Lovelli, S., Zaccardelli, M., Perrone, D., Ulrici, A., Francia, E., ... Pecchioni, N. (2015). Physiological responses of processing tomato in organic and conventional Mediterranean cropping systems. *Scientia Horticulturae*, 190, 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.027>
- Salas-Méndez, E. de J., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez García, R. & Jasso de Rodríguez, D. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 150, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). *Panorama Agroalimentario 2020*. Recuperado el 24 de octubre de 2021 de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020
- United States Department of Agriculture (USDA). (1991). *United States Standards for grades of fresh tomatoes*. Recuperado el 24 de octubre de 2021 de https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Tomato_Standard%5B1%5D.pdf

Aplicación de un sensor alternativo de lactato no enzimático

Erick Salinas Ávila¹, Janet Ledesma-García¹, Ricardo A. Escalona-Villalpando¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Nanotecnología.

Correspondencia: erick708922@gmail.com; ricardo.escalona@uaq.edu.mx; janet.ledesma@uaq.mx.

Resumen

En este trabajo, se evaluaron electrodos para un sensor de lactato no enzimático, a partir de un compuesto bimetalico de Fe y Cu (Guo et al., 2020), denominado como un análogo al azul de Prusia (CuFe-PBA) por su estructura cristalina similar a éste. Se realizaron pruebas mediante técnicas electroquímicas como Cronoamperometrías (CA), Voltamperometrías cíclicas (VC) y voltametrías de pulso diferencial con el fin de evaluar su desempeño. El sensor mostró un rango lineal desde 0 a 50 mM en un pH de 7.4, mientras que a un pH de 5.6 el rango fue sólo de 0 a 5.6 mM. Los estudios únicamente se realizaron en un rango de 0 a 6 mM para pH neutro, ya que éste es el rango de concentraciones de lactato que pueden estar presentes en fluidos biológicos con este pH. Algunos parámetros obtenidos fueron rango lineal 0 a 6 mM ($R^2 = 0.983$), límite de cuantificación de 6.381 mM y límite de detección de 1.5 mM. Lo que dio como resultado una vía alterna para el sensado del lactato. La alternativa abiótica puede ser más útil en casos específicos, puesto que el uso de este material puede ayudar a mejorar o eliminar la tendencia de un sistema enzimático a perder su funcionalidad por los efectos de pH, temperatura u otros efectos inhibitorios.

Palabras clave: análogos de azul de Prusia, electroquímica, fluidos humanos, sensor abiótico, sensor de lactat

Abstract

This paper evaluates electrodes for a non-enzymatic lactate sensor from a bimetallic compound of Fe and Cu, named as an analog to Prussian blue (FeCu-PBA) due to its structural similarity. Different electrochemical techniques were used such as Chronoamperometry (CA), Cyclic Voltammetry (VC) and Differential Pulse Voltammetry in order to evaluate their performance. A linear relationship between concentration and current was found over a range of 0 to 50 mM at a pH of 7.4, while at a pH of 5.6 the range was only 0 to 5.6 mM, however the studies were only performed in a range of 0 to 6 mM for neutral pH because of the range of lactate concentrations that can be present in biological fluids with this pH. Some parameters obtained were linearity in a linear range 0 to 6 mM ($R^2 = 0.983$), quantification limit of 6.381 mM and detection limit of 1.5 mM. The resulting is an alternative pathway for lactate sensing. The abiotic alternative may be more useful in specific cases, for the reason that the use of this material can help to improve the tendency of an enzyme system to lose its functionality due to the effects of pH, temperature or other inhibitory effects.

Keywords: Prussian blue analogs, electrochemical, human fluids, abiotic sensing, lactate sensor

1 Introducción

Los biosensores son dispositivos de cuantificación analítica que, a diferencia de un sensor abiótico, comprenden un elemento de reconocimiento de conformación biológica, el cual está asociado a un método de cuantificación que está descrito por el tipo de interacción que se da entre el analito y el elemento de detección, con el fin de obtener información de éste en tiempo real. Existen diferentes elementos de detección biológicos como enzimas, anticuerpos, lectinas, receptores, células completas, ácidos nucleicos, aptámeros, óxidos metálicos, nanopartículas, etc. De forma general, se busca que exista una relación directa entre la concentración del analito y la corriente eléctrica o voltaje medido. Esta señal puede ser amplificada de manera conveniente con el objetivo de poder ser enviada a un dispositivo que haga la conversión correspondiente para que la señal pueda ser mostrada en las unidades de concentración del analito (Jiménez C & León P, 2009).

Se pueden clasificar los biosensores por el tipo de receptor o biorreceptor que utiliza como elemento de reconocimiento, que a su vez es la parte más importante para su especificidad. El término biorreceptor se refiere al elemento de origen biológico que mediante distintos procesos químicos o físicos logra la unión específica con el analito que nos interesa. Estos biorreceptores pueden clasificarse en 6 tipos que son: ADN o primers, enzimáticos, células, aptámeros, compuestos inmunológicos y compuestos biomiméticos (Velusamy et al., 2010). Sin embargo, en nuestro caso el elemento de reconocimiento no es de origen biológico, pero sí se busca que se pueda llegar a tener la misma selectividad en medios complejos, con la finalidad de ser utilizado como un sensor de lactato en fluidos biológicos.

Este material se denomina como un análogo del azul de Prusia (Guo et al., 2020), lo cual se refiere a un material que tienen composiciones definidas de cationes metálicos, que actúan como nodos que están unidos por grupos de cianuro que actúan a su vez como puente (Jiao et al., 2017). En este caso, se espera que esta estructura esté conformada por cobre, hierro

y cianuro de manera similar a como se muestra en la Figura 1.

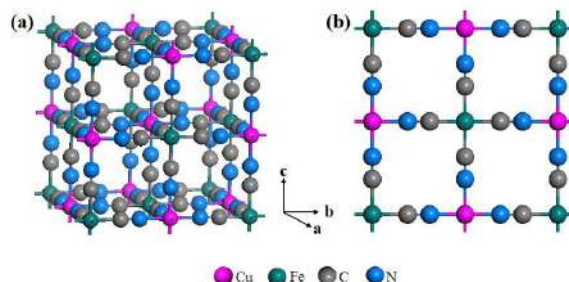


Figura 1. Estructura de $\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ (a) estructura en sistemas de tres coordenadas (b) estructura en el plano bc (Jiao et al., 2017).

Como podemos ver, este compuesto es un tanto complejo. Aunque su estructura presentada en la Figura 1 parece simplemente una estructura cúbica centrada en las caras, si estudiamos esta forma más a fondo veremos que está formada por tres tipos de enlaces: un enlace covalente en el ion cianuro, un enlace complejo entre los iones CN^- y Fe para formar el ion ferrocianuro (o ferricianuro) y un enlace iónico entre los iones de ferrocianuro y Cu.

En la Figura 2 podemos ver la estructura de los orbitales moleculares del ion ferrocianuro, el cual se genera a partir de la separación de los niveles energéticos degenerados $3d^5$ del ion Fe^{2+} (Malmqvist et al., 2008). Se da lugar a un complejo octaédrico de espín bajo, denominado así ya que los ligandos CN^- generan una separación grande entre los estados degenerados que resulta en dos niveles energéticos diferentes para estos mismos estados. Lo anterior, hace que los electrones se coloquen dentro de los orbitales siguiendo un orden que siempre dará el valor mínimo de espín posible. A los ligandos que logran lo anterior se les denomina ligandos fuertes (Kunnus et al., 2016).

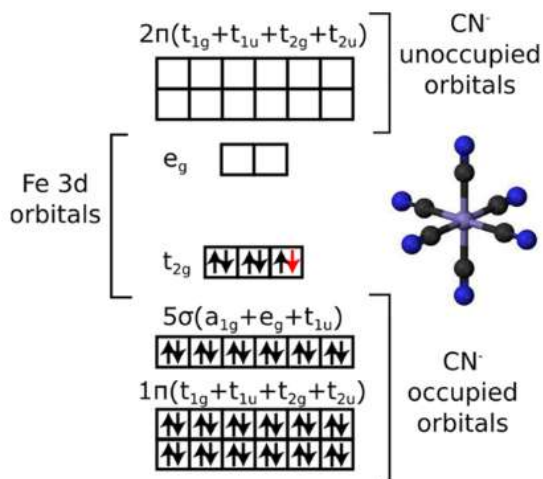


Figura 2. Diagrama cualitativo de orbitales moleculares de valencia (MO) de un complejo de hexacianuro de hierro octaédrico con CN⁻ (Kunnus et al., 2016).

Para el caso del ion ferricianuro, la configuración sería la misma; a excepción del electrón marcado en rojo en la Figura 2, el cual no estaría existiendo. En lugar de los dos electrones apareados, sólo habría un electrón desapareado. Ésto haría a este compuesto un agente oxidante que buscaría una forma de menor energía con este electrón formando nuevamente el ferrocianuro.

Tradicionalmente, se sabe que el compuesto PB existe en al menos dos formas estables; rico en alcalinos (soluble), AFe^{III}[Fe^{II}(CN)₆], donde A = cationes de metales alcalinos, y libre de alcalinos (insoluble), Fe^{III}[Fe^{II}(CN)₆](Ludi & Güdel, 1973). Los términos "soluble" e "insoluble" son algo engañosos, ya que ambos compuestos son altamente insolubles en agua. En este contexto, la connotación de solubilidad fue inventada por los fabricantes de tinte y se refiere a la facilidad con la que ciertas muestras de PB pueden formar soluciones coloidales (Xing et al., 2020).

Los análogos del azul de Prusia (PBA) se pueden formular como AM[M'(CN)₆], donde M y M' son iones de metales de transición; A, cuando está presente, es a menudo un catión monovalente o NH₄⁺. La estructura cristalina idealizada de PB generalmente se describe en el grupo espacial Fm3m a ≈ 10.2 Å, y fue caracterizada por primera vez por Keggin y Miles en 1936, utilizando datos de

difracción de polvo (Keggin & Miles, 1936). Un modelo de estructura ligeramente modificado (actualmente el aceptado) para PB libre de álcalis fue presentado en la década de 1970 por Buser y sus colaboradores. Por difracción de rayos X (Malmqvist et al., 2008).

El presente trabajo tiene como objetivo hacer la síntesis de un material mediante el cual se plantea hacer el desarrollo de electrodos abióticos para la detección de lactato en medios acuosos, caracterizando los electrodos por métodos fisicoquímicos y electroquímicos, optimizando los mismos a diferentes condiciones de pH y evaluando su selectividad frente a diferentes interferentes.

2 Metodología

2.1 Síntesis de partículas de CuFe-PBA

Se preparó una solución Cu(NO₃)₂ y K₃Fe[CN]₆ 1:1 v/v y 4.0 g de PVP en 50 mL de agua DI. Se agitó durante 30 minutos, se centrifugó y posteriormente fue lavado con agua y etanol varias veces. El precipitado se dejó secar a 60° C durante 24 h (Guo et al., 2020).

2.2 Preparación de electrodos de CuFe-PBA

Se dispersaron 2.5 mg de nanopartículas de FeCu en isopropanol y nafión en una relación de 10.5 veces, posteriormente se agitó por 1 minuto en el vortex y se colocó en baño ultra sónico por 30 segundos, repitiendo estos últimos dos procesos al menos tres veces para lograr una dispersión correcta de las partículas. Una vez lograda una buena dispersión se depositó 20 μL sobre la superficie de los electrodos de 0.25 cm² de área y se dejó secar al menos 1h.

2.3 Evaluación de los electrodos por métodos electroquímicos.

Todos los experimentos se realizaron al menos por triplicado, excepto los especificados. Los

experimentos electroquímicos fueron realizados con o sin agitación usando un potenciostato marca Epsilon y BioLogic SAS Science Instrument VSP. Los electrodos fueron evaluados en distintas soluciones buffer a diferentes pH con el fin de evaluar la actividad del sensor en estos diferentes valores de pH, usando un electrodo de calomel o Ag/AgCl como electrodo de referencia y grafito como contra electrodo. Las voltamperometrías cíclicas (VC) se realizaron a una velocidad de barrido de $10 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ y un rango de potencial variable, mientras que los experimentos de amperometría se realizaron aplicando diferentes voltajes específicos para cada material de manera constante para cada prueba. Por último, las pruebas de voltametría de pulso diferencial fueron realizadas de un potencial inicial de -0.3 V a un potencial de 0.4 V , teniendo como parámetros una amplitud de 10 mV , un ancho de pulso de 100 ms , un incremento de potencial de 2 mV y un tiempo de muestreo de 300 ms (ver Figura 3).

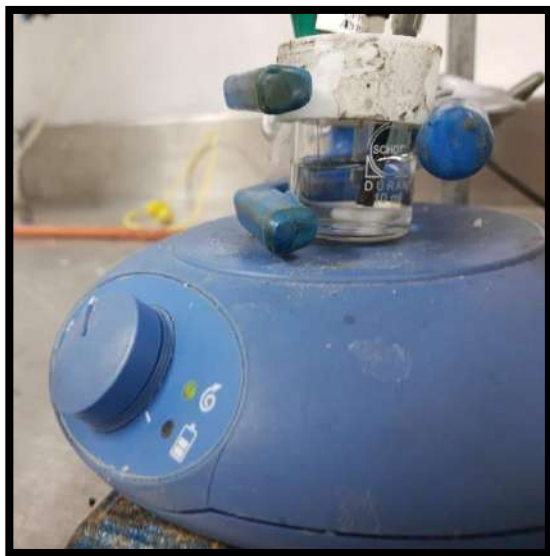


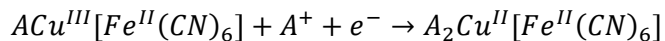
Figura 3. Acomodo de electrodos usado para la realización de pruebas electroquímicas. Fuente: elaboración propia.

3 Resultados

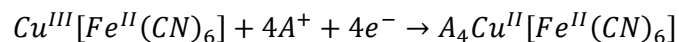
Este material se probó por medio de VC, amperometrías y Voltametría de pulso diferencial (DPV). Las VC fueron de ayuda para determinar a primera instancia el comportamiento de los electrodos

a la presencia de lactato, Se realizaron en un rango de -0.4 a 0.6 V con una velocidad de barrido de $10 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$, en PBS a un pH de 5.6. Esto mostró picos de oxidación notables ante la presencia de lactato cercano a 0.05 V (vs Ag/AgCl) llevando los valores de la corriente desde valores ligeramente negativos hasta valores cercanos a los $100 \mu\text{A}$ para el mismo potencial. Un cambio también notable se puede ver en la parte de reducción, la cual, aunque no muestra picos bien definidos a un potencial, es evidente para cada concentración de lactato que la corriente aumenta y lo hace esta vez de manera correspondiente con cada adición a un potencial de -0.3 V .

Se pueden observar un par de picos redox que se deben a la oxidación y reducción del CuFe-PBA en los que sería de esperar, por su similitud con el azul de Prusia (PB) que siga un mecanismo similar. En el mecanismo conocido del PB este se reduce a PW que se re-oxida a PB y se sabe que el PB existe tanto en forma soluble como insoluble, entonces si nuestro material respeta estas formas podríamos tener un mecanismo análogo al del PB como se muestra a continuación para la forma soluble (Cinti et al., 2014).



Y de la siguiente forma para su forma insoluble:



Sin embargo, esta forma no nos explica completamente algunos de los fenómenos observados durante la experimentación, como por ejemplo a qué se debería entonces la diferencia entre usar este material o sólo usar el PB. Para ello, debemos hacer otras pruebas para verificar si se trata solo de este mecanismo o hay otros intermediarios en la reacción, lo que se confirmara más adelante cuando veamos que este mecanismo debe estar mediado por la presencia de oxígeno.

Posterior a esta prueba, se realizaron otras VC que muestran que este mismo comportamiento se presenta cuando la enzima no es colocada sobre el electrodo, lo que nos hace concluir que el efecto visto es producido por el material únicamente. A continuación, se presentan la Figura 4.

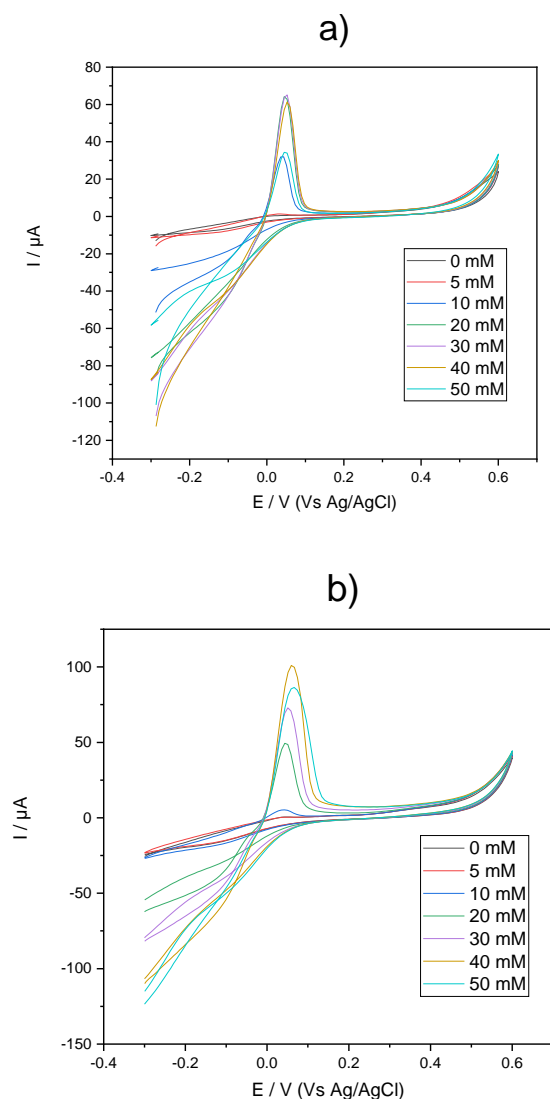


Figura 4. Voltamperometrías cíclicas de partículas de a) Cu-Fe PBA y b) Cu-Fe PBA y LOx a diferentes concentraciones de Lactato en PBS pH 5.6 (0.1 M) a una velocidad de barrido de 10 mV·s⁻¹. Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que los resultados son algo dispersos y rara vez se logró observar esta dependencia con la concentración de lactato hasta valores de 50 mM. Por ello, se optó por utilizar técnicas de DPV con el objetivo de observar de mejor manera estos picos de oxidación mostrados en el material.

Las pruebas fueron realizadas de un potencial inicial de -0.3 V a un potencial de 0.4 V, tuvieron como parámetros una amplitud de 10 mV, un ancho de pulso de 100 ms, un incremento de potencial de 2 mV y un tiempo de muestreo de 300 ms. Estas pruebas nos ayudaron a establecer de manera certera que la mayoría de los electrodos tenían como punto de saturación una concentración menor a la que suponíamos de 8 mM, como es notable en la Figura 5.

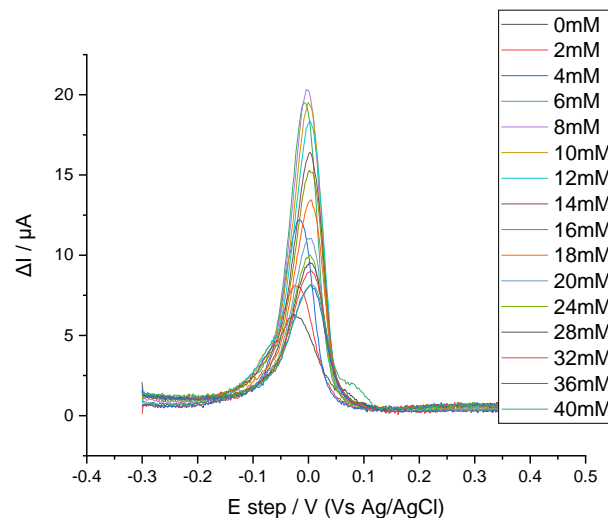


Figura 5. Voltmetría de pulso diferencial de CuFe-PBA a diferentes concentraciones de lactato en PBS pH 5.6 (0.1 M). Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6 podemos ver de manera más clara la relación entre el aumento de la corriente y las distintas concentraciones de lactato. Así, es posible ver que alcanza la corriente más alta a una concentración de apenas 8 mM, lo que concuerda con lo visto en algunas VC vistas anteriormente.

Se realizó un duplicado de la prueba anterior de DPV de donde se obtuvo rango lineal de 0-8 mM ($R^2 = 0.958$), un límite de detección de 1.6 mM, un límite de cuantificación de 5.23 mM, una sensibilidad de 2.25 $\mu\text{A}\cdot\text{mM}^{-1}$, y una corriente máxima de 138.89 μA .

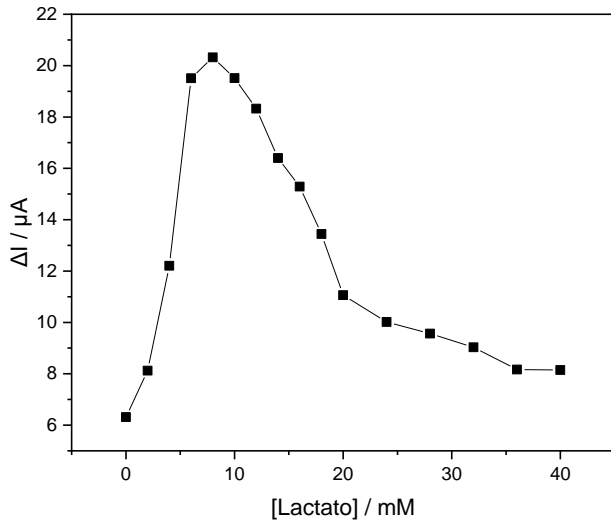


Figura 6. Concentración de lactato vs diferencia de corriente obtenida de la Voltametría de pulso diferencial de CuFe-PBA a diferentes concentraciones de lactato en PBS pH 5.6 (0.1 M). Fuente: elaboración propia.

En este caso, el límite de detección usando la técnica de DPV toma valores que nos permiten la detección del lactato en el medio. Sin embargo, el límite de cuantificación se acerca bastante al rango lineal del electrodo de 0-8 mM, por lo que la cuantificación puede ser poco efectiva. Esto se debe probablemente a la irregular dispersión de las partículas sobre el electrodo. Por esa razón, para mejorar estos datos se debería cambiar el método mediante el cual se depositan las partículas sobre el electrodo.

Este material fue evaluado posteriormente por cronoamperometría, con la consideración del hecho que presenta una saturación a los 8 mM que puede ser útil para evaluarlos en fluidos biológicos como lágrimas, sudor o sangre. Por lo anterior, se realizaron en condiciones que coincidieron mejor con estos medios, ya que estos tienen un pH neutro y como concentración máxima de lactato pueden contener alrededor de 6 mM. Se realizaron adiciones de lactato cada sesenta segundos en distintos rangos de concentración de lactato. De 0 a 1.6 mM se hicieron 16 adiciones de 0.1mM, de 1.6 a 3.6 mM se hicieron diez adiciones de 0.2mM y finalmente de 3.6 a 6 se realizaron seis adiciones de 0.4 mM. En la Figura 7 pueden observarse estos 3 rangos de adiciones que comienzan alrededor de los 380 segundos.

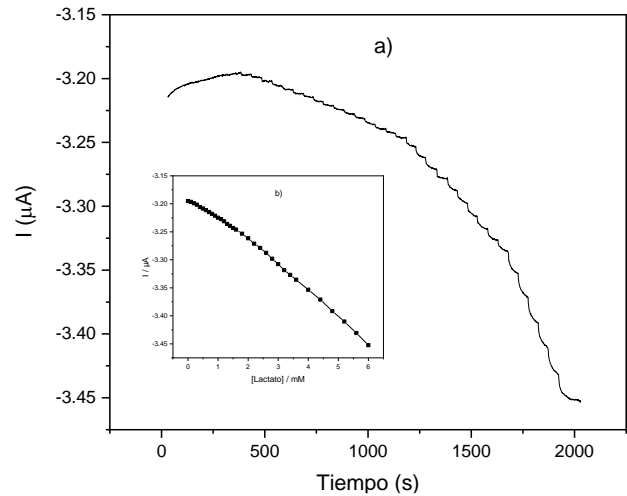


Figura 7. a) Cronoamperometría de FeCu NP's a con adiciones de ácido láctico en PBS pH 7.4 (0.1 M) a un potencial de -300mV b) corriente en función de la concentración de lactato. Fuente: elaboración propia.

Se realizó un triplicado de estas pruebas de cronoamperometría y se obtuvo un rango lineal de 0 mM a 6 mM con una $R^2 = 0.983$ y la siguiente ecuación lineal $y = -5 \times 10^{-8}x + 4 \times 10^{-6}$.

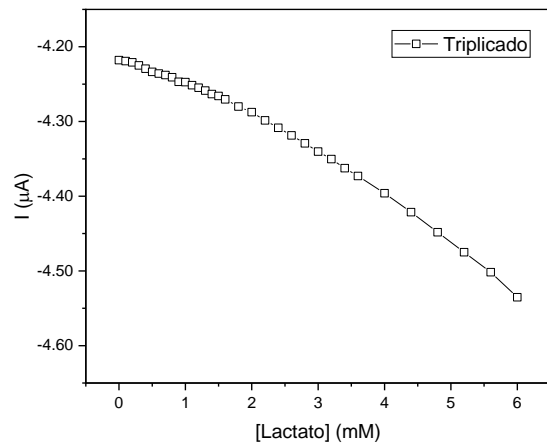


Figura 8. Triplicado de pruebas cronoamperométricas del electrodo de CuFe-PBA con adiciones de lactato. Fuente: elaboración propia.

La sugerencia del mecanismo redox es conocer si la reacción procede como dependencia de oxígeno. Para ello, se planteó el experimento de cronoamperometría

en ausencia y presencia de oxígeno. Como se puede observar en la Figura 9. con la adición de lactato, hay un aumento de la corriente de $0.25 \mu\text{A}$ en sentido negativo, cuando se nitrógeno la solución se puede observar un decaimiento en la corriente y cuando se administra oxígeno la corriente es mayor, lo que indica que la reacción depende del oxígeno, sugiriendo que pudiera seguir el mecanismo por oxidación de lactato por radicales libres.

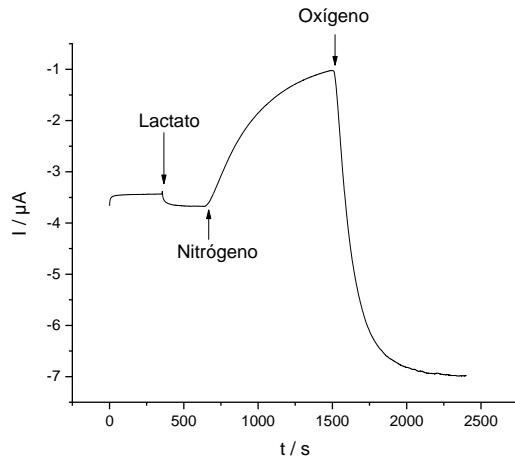


Figura 9 Efecto de la nitrogenación y oxigenación en el electrodo de CuFe-PBA. Fuente: elaboración propia.

En este caso, se hizo una prueba de interferentes con 1 mM de lactato (Lac), 3 mM de glucosa (Glu), 0.1 mM de ácido ascórbico (AA), 0.1 mM de ácido úrico (AU), 0.1 mM de Urea (U) y 0.2 nM de dopamina. En la Figura 10, podemos ver que solamente la adición de lactato produce un aumento de la corriente en el sentido negativo. Todas los demás interferentes probados causan el efecto contrario, de disminución de la corriente, cada uno con una magnitud distinta siendo la dopamina la que tuvo el efecto menos notorio, casi imperceptible y el ácido úrico y el ácido ascórbico los que causaron un mayor cambio en la corriente, en el caso de la primera adición de ácido ascórbico se vio un cambio de $0.9 \mu\text{A}$, mucho mayor que los cambios de corriente vistos anteriormente para las adiciones de lactato, con lo que no sería posible medir de manera precisa la concentración de lactato presente en la solución en la presencia de alguno de estos interferentes. En otras palabras, se puede decir

que el material no es selectivo, sino que más bien pueda catalizar reacciones redox de distintos materiales orgánicos.

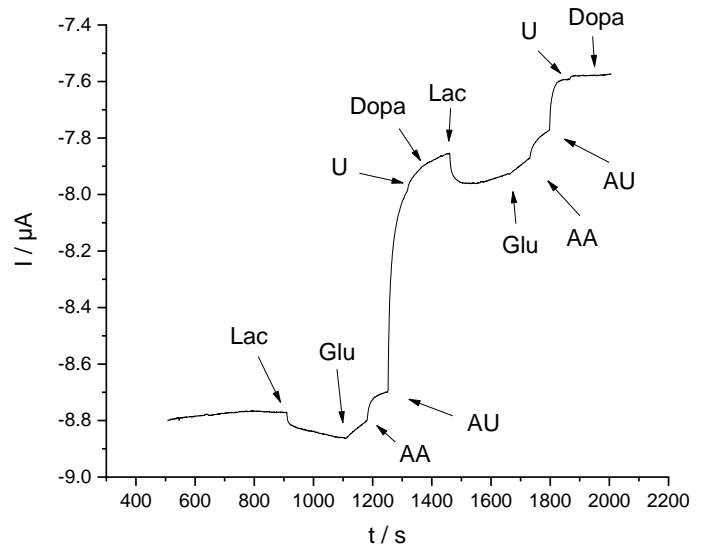


Figura 10. Prueba de interferentes de CuFe-PBA. Fuente: elaboración propia.

En el caso del XRD para este material podemos observar prácticamente la misma estructura cristalina que la reportada en la literatura para el azul de Prusia en la Figura 11. (Shiba et al., 2019), indicándonos que la estructura cristalina del material sintetizado es muy similar a la estructura cristalina del Azul de Prusia. Esto sugiere que la estructura del material sintetizado efectivamente es como se mostró en la Figura 1.

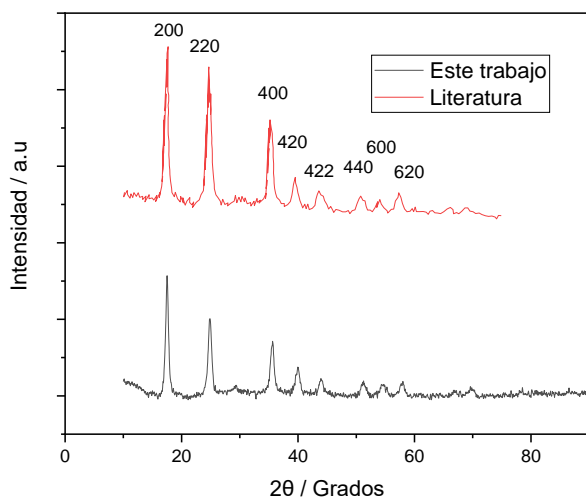


Figura 11. XRD de CuFe-PBA sintetizado y PB reportado en la literatura (Shiba et al., 2019) “elaboración propia”.

4 Discusión y conclusiones

El material se logró caracterizar por XRD, con lo que se lograron observar picos pertenecientes a la estructura cristalina del PB reportada en la literatura (Shiba et al., 2019), pues muestran una gran similitud en su estructura cristalina con las estructuras propias de estos materiales reportadas en la literatura y mostrando composiciones acordes a lo que se esperaba obtener,

La evaluación a diferentes medidas de pH de las partículas de CuFe-PBA muestra rangos lineales significativamente más grandes, pues mientras que a un pH de 5.6 el rango lineal no pasa de 8 mM para un pH más neutro de 7.4 este rango supera los 50 mM. Lo anterior, nos da información acerca de los posibles mecanismos mediante los cuales sucede la oxidación y la reducción de lactato en la presencia de este material, lo cual posiblemente pueda darse por medio de radicales libres. Además, se pudo observar en este mismo material que dicha reacción está mediada por oxígeno, pues al desplazar el oxígeno con nitrógeno, las corrientes disminuyen drásticamente y al oxigenar nuevamente el medio, se observa un aumento notable en la corriente. Este material es novedoso y no se ha

reportado para la oxidación de lactato, por lo que fue un logro en el trabajo demostrar que mediante pruebas electroquímicas puede identificarse la presencia de lactato en medios complejos sin la utilización de electrodos enzimáticos.

5 Referencias

- Cinti, S., Arduini, F., Moscone, D., Palleschi, G., & Killard, A. J. (2014). Development of a hydrogen peroxide sensor based on screen-printed electrodes modified with inkjet-printed Prussian blue nanoparticles. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 14(8), pp. 14222–14234. DOI: <https://doi.org/10.3390/s140814222>
- Guo, R., Chen, Y., Nengzi, L., Meng, L., Song, Q., Gou, J., & Cheng, X. (2020). In situ preparation of carbon-based Cu-Fe oxide nanoparticles from CuFe Prussian blue analogues for the photo-assisted heterogeneous peroxydisulfate activation process to remove lomefloxacin. *Chemical Engineering Journal*, 398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125556>
- Jiao, S., Tuo, J., Xie, H., Cai, Z., Wang, S., & Zhu, J. (2017). The electrochemical performance of Cu₃[Fe(CN)₆]₂ as a cathode material for sodium-ion batteries. *Materials Research Bulletin*, 86, pp. 194–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.10.019>
- Jiménez C, C., & León P, D. E. (2009). Biosensores: aplicaciones y perspectivas en el control y calidad de procesos y productos alimenticios. *In Vitae*, 16, pp. 144–154.
- Kunnus, K., Zhang, W., Delcey, M. G., Pinjari, R. V., Miedema, P. S., Schreck, S., Quevedo, W., Schröder, H., Föhlich, A., Gaffney, K. J., Lundberg, M., Odellius, M., & Wernet, P. (2016). Viewing the Valence Electronic Structure of Ferric and Ferrous Hexacyanide in Solution from the Fe and Cyanide Perspectives. *The Journal of Physical Chemistry B*, 120(29), pp. 7182–7194. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b04751>
- Ludi, A., & Güdel, H. U. (1973). *Structural chemistry of polynuclear transition metal cyanides BT - Inorganic Chemistry*, pp. 1–21.
- Malmqvist, P. Å., Pierloot, K., Shahi, A. R. M., Cramer, C. J., & Gagliardi, L. (2008). The restricted active space followed by second-order perturbation theory method: Theory and application to the study of CuO₂ and Cu₂O₂ systems. *The Journal of Chemical Physics*, 128(20). DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2920188>
- Shiba, F., Mameuda, U., Tatejima, S., & Okawa, Y. (2019). Synthesis of uniform Prussian blue nanoparticles by a polyol process using a polyethylene glycol aqueous solution. *RSC Advances*, 9, pp. 34589–34594. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9RA07080J>

Velusamy, V., Arshak, K., Korostynska, O., Oliwa, K., & Adley, C. (2010). An overview of foodborne pathogen detection: In the perspective of biosensors. *Biotechnology Advances*, 28(2), pp. 232–254. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.12.004>

Xing, X., Song, Y., Jiang, W., & Zhang, X. (2020). CuFe–P from a Prussian blue analogue as an electrocatalyst for efficient full water splitting. *Sustainable Energy & Fuels*, 4(8), pp. 3985–3991. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0SE00402B>

Materiales foto-resistores sintetizados por crecimiento químico en solución

P.D. Gómez-Barrales¹, A.A. Gutiérrez-Gil¹, M. Serrano-Romero¹, Y. Jiménez-Flores¹, Ma. Del C. Alcántara-Téllez¹, I.R. Chávez-Urbiola¹, M.B. Ortuño-López¹

¹Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro.

Correspondencia: monica.ol@queretaro.tecnm.mx

Resumen

Se sintetizaron y procesaron materiales para el diseño de sensores de radiación o también llamados foto-resistores, mediante métodos químicos de crecimiento en solución DBQ y SILAR. Se caracterizaron las propiedades ópticas y eléctricas de películas delgadas de PbS, CdS y ZnS. Se fabricaron foto-resistores de PbS, se valoraron eléctricamente en diferentes condiciones. Así, se observó un claro efecto en la resistividad dependiente de la intensidad lumínica. Se analizó estadísticamente la producción de estos sensores, para lo cual se observó una mínima dispersión con respecto a su producción. Con los datos obtenidos y un proceso estable para una producción a baja escala de sensores que cumplen con las características necesarias de dispositivos funcionales. Para las películas de CdS y ZnS, se realizaron dos tipos de perfiles de impurificación con Cu, a fin de conseguir efectos en sus propiedades eléctricas, que permitieran incrementar sus propiedades como fotosensores. Las películas de CdS:Cu y ZnS:Cu son películas semiconductoras con características ópticas y eléctricas apropiadas para el diseño de componentes electrónicos, como: fotosensores, transistores y diodos. La modificación y sintonización de su ancho de banda de energía prohibida (E_g) y variaciones significativas en la resistencia eléctrica, ambas como función tanto del perfil del dopaje como del espesor de los materiales permitirán implementar este tipo de películas en dispositivos electrónicos.

Palabras Clave: foto-resistores, PbS, CdS, ZnS, DBQ, SILAR.

Abstract

Materials for the design of radiation sensors or also called photo-resistors were synthesized and processed by DBQ and SILAR solution growth chemical methods. The optical and electrical properties of PbS, CdS and ZnS thin films were characterized. PbS photo-resistors were fabricated, electrically evaluated under different conditions, a clear effect on the light intensity dependent resistivity was observed. The production of these sensors was statistically analyzed, for which a minimum dispersion with respect to their production was observed. With the data obtained and a stable process for a low-scale production of sensors fulfill the necessary characteristic of functional devices. For the CdS and ZnS films, two types of impurification profiles with Cu were performed, looking for effects on their electrical properties, which would increase their properties as photosensors. CdS:Cu and ZnS:Cu films are semiconductor films with optical and electrical characteristics suitable for the design of electronic components, such as: photosensors, transistors and diodes. The modification and tuning of their bandwidth of forbidden energy (E_g) and significant variations in electrical resistance, both as a function of both the doping profile and the thickness of the materials, will allow the implementation of this type of films in electronic devices.

Keywords: Photo-resistors, PbS, CdS, ZnS, DBQ, SILAR.

Introducción

Recientemente, la demanda de productos electrónicos se ha visto incrementada debido al actual aumento de las necesidades remotas a nivel mundial, donde son indispensables dispositivos tecnológicos de comunicación. Taiwán, Corea del Sur y otros países del bloque Asia-Pacífico, considerados como potencias en la manufactura de componentes y dispositivos electrónicos (Zavala, 2014), han enfocado sus esfuerzos para la satisfacción de la alta demanda en dispositivos personales como teléfonos celulares y laptops entre otros. Esta dificultad ha afectado severamente a algunos otros sectores económicos, que también requieren de las tecnologías de la industria electrónica.

La escasez de componentes semiconductores, los cuales son parte de los suministros del sector automotriz, ha llevado a pérdidas millonarias a las empresas productoras por ventas no realizadas en el 2021. Otros factores, como la presencia de la pandemia por el virus SARS-Cov-2 (COVID-19), provocaron la afectación de varias cadenas de producción de microprocesadores para automóviles; lo cual afectó la economía nacional en México y en las naciones productoras del mundo (Kelion, 2021; Biswas R., 2021).

Esta problemática local y mundial ha generado reflexiones sobre las áreas de oportunidad de este subsector de la industria electrónica, el cual debe satisfacer altas demandas y, al mismo tiempo, implementar tecnologías más económicas y amigables con el medio ambiente. En las últimas décadas, las síntesis de películas delgadas con propiedades semiconductoras han sido objeto de arduo estudio por su gran potencial de aplicaciones, considerando incluso la incorporación de técnicas de fabricación y procesamiento más sostenibles.

Los semiconductores obtenidos y procesados adecuadamente tienen la capacidad de modular sus propiedades ópticas y eléctricas para diferentes necesidades. Así que una película delgada semiconductor de un material determinado de espesores en la escala nanométrica (20-100 nm)

presenta fenómenos especiales que no se presentan en un material en “bulk” o en volumen, con efectos significativos interesantes en las propiedades de dicho material (Mazón, 2009).

Las películas delgadas de semiconductores tienen aplicaciones que van desde sensores de radiación, como los detectores de IR, UV, visible, gamma, entre otros y aplicaciones como polarizadores, (Pathan, H. M., & Lokhande, C. D., 2004), diodos (Willars-Rodríguez, 2020), hasta transistores de películas delgadas (TFT) (Arreola-Jardón, G. et al., 2010) y celdas solares (Liu, F et al., 2010).

Existen diversos métodos para el crecimiento de estos materiales, dentro de los cuales destacan la erosión catódica, deposición química en fase vapor, ablación láser (Kelly, 2000; Shishir et al, 2011) entre otras. El primero involucra un bombardeo de partículas altamente energéticas sobre el material fuente para que éste sea adherido sobre un sustrato, lo que requiere condiciones de vacío para la inmersión de gases inertes y altos requerimientos energéticos. En el segundo y el tercer método se depositan las especies químicas mediante un gas portador y, al igual que el primero, deben asegurar condiciones de alto vacío para el control de la pureza de los materiales producidos. Éstos son sólo algunos ejemplos de las técnicas convencionales de la industria electrónica, cuyo grado de sofisticación por instrumentación y el riguroso control de calidad que exige su práctica, representan un coste económico y ambiental muy alto.

Las películas delgadas de halógenos en especial de sulfuros de metales tales como: el sulfuro de cadmio (CdS), sulfuro de plomo (PbS) y sulfuro de zinc (ZnS) han sido sintetizadas por métodos más sostenibles, como los basados en la técnica de Depósito en Baño Químico (DBQ) que consiste en reacciones en solución acuosa, donde interfieren agentes químicos precursores de iones del metal y de iones de azufre. También incluyen una fuente de iones hidroxilo para el ajuste del pH del sistema y un agente complejante de los iones metálicos libre en solución. La función del agente complejante es retardar la disponibilidad de los iones metálicos y con ello controlar la formación gradual de la película. Asimismo, puede ser útil la

presencia de una solución amortiguadora, para controlar los cambios de pH que alteren los equilibrios fisicoquímicos favorables para la adhesión y crecimiento de la película.

DBQ es una técnica muy versátil, de bajo costo y temperatura, de sencilla instrumentación, y con alto potencial para ser escalable (Oliva, Corona, Patiño & Oliva-Avilés, 2014). Por métodos de DBQ es posible la obtención de películas semiconductoras de buena calidad, homogéneas y bien adheridas a su sustrato, en temperaturas desde la ambiental y hasta 90° C y sin liberación de gases tóxicos al ambiente y equipos de vacío (Díaz-Grijalva et al., 2020).

Por otra parte, la técnica SILAR (Reacción y Absorción Sucesiva de Capas Iónicas), ha demostrado su eficiencia en el dopaje de películas delgadas semiconductoras con una gran variedad de elementos en diferentes proporciones (Pathan & Lokhande, 2004). La técnica de SILAR funciona bien en condiciones ambientales de temperatura y presión, por lo que es aún más sencillo y económico que DBQ. En este proceso las películas son obtenidas simplemente mediante la inmersión de los sustratos en las soluciones acuosas de los iones precursores (Pathan & Lokhande, 2004).

El CdS presenta un *band gap* cercano a los 2.5 eV a temperatura ambiente (Senthil, Mangalaraj & Narayandass, 2001), con un borde de absorción característico cercano a los 500 nm, con un carácter del tipo n. Aunque existen reportes donde se ha logrado un cambio a un tipo p (Heredia Cancino, 2013), ésto dependiendo de las condiciones de depósito o dopaje. Las películas obtenidas mediante DBQ, presentan resistividades del orden de los $10^8 - 10^{10} \Omega cm$ (Khallaf et al., 2009), por lo que son altamente resistentes al paso de la corriente eléctrica, no obstante, la inclusión de cierto tipo de impurezas puede tener efectos directos en esta propiedad. El sulfuro de cadmio dopado con cobre ha sido reportado como un material fotosensible debido a su ancho de banda en el visible. Este fenómeno se puede apreciar en un incremento en su resistividad eléctrica en la obscuridad, y una disminución cuando es iluminado (Díaz-Grijalva, et al., 2020); lo que es una

característica necesaria en los componentes foto-resistores comerciales.

Otro material que ha demostrado ser útil en el diseño de foto-resistores es el PbS el cual tiene un band gap bajo de 0.41 eV, lo que explica su alta sensibilidad a la radiación en el infrarrojo (Choudhury & Sarma, 2008). El PbS es un poco menos resistivo, en comparación con el CdS, con valores en el intervalo los $10^5 - 10^6 \Omega cm$ (Pentia, Pintilie, Matei, Botila & Ozbay, 2001). Dependiendo de la técnica y su depósito pueden variar sus características, por general por DBQ es un semiconductor del tipo p (Cohen, 2018). También para este material se ha reportado la inclusión de impurezas que producen una alteración en su ancho de banda prohibida y propiedades eléctricas, lo que lo transforma en un material más conductivo.

Por su parte el ZnS es un material con propiedades similares al CdS (Saidzhonov, B. y col., 2019), con la ventaja de que el ZnS no ha sido considerado nocivo para la salud. Es un semiconductor tipo n, que por sus propiedades ópticas puede ser aplicado como ventana en componentes optoelectrónicos (Bergstresser, T. K., & Cohen, M. L., 1967). Presenta un borde de absorción característico cercano a 340 nm, band gap de 3.6 eV a temperatura ambiente (Ves, S. y col., 1990); se ha reportado que este valor puede modularse entre 3.8 y 3.9 eV, en función del control de la estructura en que cristaliza, zinc blenda o wurtzita (Xiaosheng et al, 2011).

Heywang & Schauer (1974) señalaron que el desarrollo de las tecnologías de materiales electrónicos se asocia directamente a la miniaturización, la confiabilidad y al amplio rango de aplicaciones potenciales. Las bajas escalas dimensionales en los circuitos diseñados con elementos de película delgada disminuyen la resistencia eléctrica entre los componentes.

En términos generales un foto-resistor o también llamado fotosensor, es un componente que tiene la propiedad de variar su valor de resistencia dependiendo de la intensidad de luz. La resistencia disminuirá cuando la intensidad de luz sea grande, y

aumentará cuando la intensidad disminuya (Díaz-Grijalva et al., 2020).

En este proyecto se obtuvieron y caracterizaron materiales para dispositivos foto-resistores de película delgada, se desarrollaron foto-resistores de PbS. Los métodos de síntesis y procesamiento incluyeron respectivamente las técnicas de DBQ y SILAR para la incorporación de cobre como agente impurificante de las películas de CdS y ZnS. Determinaron propiedades ópticas y eléctricas, y se evaluó la reproducibilidad de las propiedades de los componentes acondicionados.

Metodología

Obtención de las películas

La obtención de las películas semiconductoras se llevó a cabo mediante varios métodos basados en la técnica DBQ. Se detallan a continuación los parámetros experimentales de cada método.

Sulfuro de Plomo

En un vaso de precipitado se añadieron en orden las siguientes sustancias: 10 ml de nitrato de plomo (0.25M), 10 ml de hidróxido de potasio (1M), 2 ml de trietanolamina (1M) y 6 ml de tiourea (1M) y c.b.p. 80 ml de agua desionizada. Luego, cinco sustratos fueron colocados en el reactor inmerso en un baño a una temperatura de 50° C. Debido a la fotosensibilidad de la reacción, el reactor fue protegido de la luz ambiental. Las películas fueron obtenidas luego de tres horas de depósito.

Sulfuro de Cadmio

Con base en el trabajo publicado por Contreras y colaboradores (2018), la fórmula de depósito fue la siguiente: 20 ml de cloruro de cadmio (0.05M), 2.5 ml de citrato de sodio (1M), 0.5 ml de hidróxido de potasio (1M), 10 ml de Buffer de Borato, 5 ml de tiourea (1M) y c.b.p. 50 ml de agua desionizada. Se obtuvieron cinco películas de 90 minutos de depósito, crecidas a una temperatura de 80 °C.

Sulfuro de Zinc

En un vaso de precipitado se añadieron en orden las siguientes sustancias: 10 ml de sulfato de zinc (0.1M), 10 ml de citrato de sodio (0.5M), 2 ml de hidróxido de potasio (0.5M), 10 ml de solución buffer pH-10 y 15 ml de tiourea (0.5M) y c.b.p. para 50 ml de agua desionizada. Se obtuvieron cinco películas de 18, 30, 60, 90 y 120 minutos de depósito, crecidas a una temperatura de 70 °C.

Procesamiento de las películas de CdS y ZnS

En el caso de las películas de CdS y ZnS, que tienen una naturaleza altamente resistiva, se aplicó un tratamiento para la incorporación de Cu a la estructura superficial de los materiales, buscando mejorar su conductividad eléctrica. El método SILAR se aplicó para lograr el dopaje de los materiales mediante la inmersión de las películas en una solución de nitrato de cobre (0.1M).

Para el dopaje de estos materiales, se establecieron dos tipos diferentes de perfiles, para el caso del ZnS la inmersión en la solución de iones de cobre, fue de 8 segundos para toda la serie de películas de espesores diferentes. Para el CdS, se varió el tiempo de inmersión de 8, 12 y 16 segundos, conservando constante el espesor de las películas.

Acondicionamiento de películas de PbS para los foto-resistores

Una vez que las películas fueron obtenidas y con ayuda de un cortador de vidrio con punta de diamante, éstas fueron cortadas a la medida de 1 cm^2 . Luego se dibujaron contactos en los extremos paralelos de los componentes con tinta conductiva de cobre, plata y platino.

Caracterización óptica y eléctrica

Se analizaron las propiedades ópticas de las películas depositadas, mediante un Espectrofotómetro UV-VIS (*Hatch DR6000*). Como parte esencial de esta caracterización óptica, se determinó la energía de banda prohibida (E_g), estimada mediante datos de absorción a través de interpolación lineal de la gráfica de $Tauc$ [$(\alpha h\nu)^2$ vs $h\nu$].

Una vez acondicionados los componentes, se determinó la resistencia eléctrica empleando un multímetro digital de la marca *Keithley 2110-120*. Se utilizó el software *KickStart 2* para configurar los parámetros del método de medición empleado para esta caracterización eléctrica, siendo de 0 a 300 segundos el intervalo de tiempo de medición y 100 mediciones para dicho período de tiempo. El instrumento tomó mediciones de resistencia eléctrica bajo dichos parámetros, para cada uno de los componentes, tanto en condiciones de iluminación como de oscuridad.

Se determinaron medidas de dispersión estadística en las propiedades eléctricas de los componentes, para evaluar la repetibilidad de la resistencia eléctrica de los foto-resistores fabricados.

Resultados

Evaluación de foto-resistores de PbS

La Figura 1 muestra la imagen de una serie de veinte foto-resistores de película fina de PbS obtenidas por la metodología aquí reportada.



Figura 1. Foto-resistores de PbS acondicionados por un método manual con contactos de pintura conductiva de Cu, Ag y Pt. Fuente: elaboración propia.

La caracterización óptica de los foto-resistores de PbS se realizó a partir de una técnica de Espectroscopía de Reflexión y Transmisión con la que se identificó el borde de absorción característico ubicado alrededor de los 625 nm. También se logró cuantificar una alta reflexión de la región ultravioleta, visible e infrarroja cercana del espectro electromagnético (35 al 60 %). Por lo que estos materiales pueden también servir como buenos filtros de la radiación.

En la Figura 2, en los incisos a) y b) se muestran los resultados de la resistencia eléctrica promedio de los

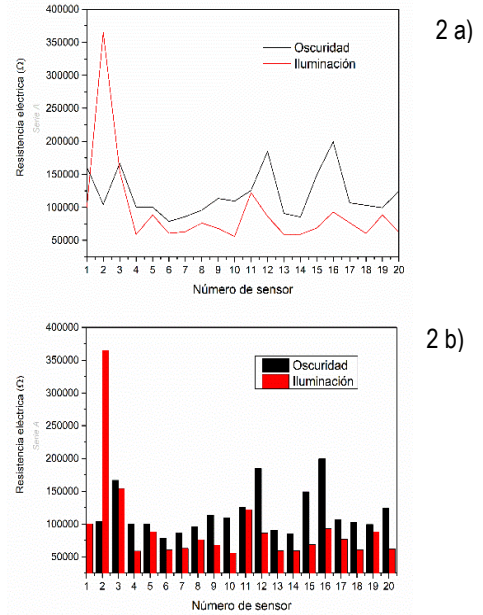


Figura 2. Resistencia eléctrica de los foto-resistores de PbS en condiciones de iluminación y oscuridad. Fuente: elaboración fotosensores de PbS en condiciones de iluminación y de oscuridad.

De la Figura 2 a) es clara la tendencia en la disminución de la resistencia eléctrica cuando los

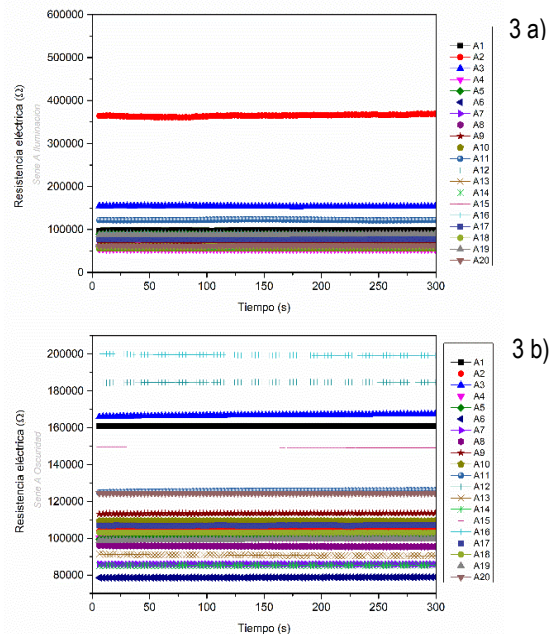


Figura 3. Resistencia eléctrica de los foto-resistores serie A medidas en condiciones de iluminación (a) y oscuridad (b) en función del tiempo. Fuente: elaboración propia.

sensores son expuestos a la iluminación, mientras que su resistencia es mayor en la oscuridad. Lo anterior

demuestra que los sensores tienen potencial para funcionar como foto-resistores (Díaz-Grijalva, et al., 2020). No obstante, se observan una dispersión significativa de la resistencia eléctrica entre algunos componentes, que claramente puede atribuirse al método manual de acondicionamiento.

La Figura 3 muestra el comportamiento eléctrico de los sensores medidos en condiciones de oscuridad e iluminación como una función del tiempo. Resulta interesante la homogeneidad de la propiedad eléctrica de todos los sensores en el tiempo. Se puede observar de nuevo la dispersión de los datos entre sensores, que resulta aún más significativa en condiciones de oscuridad (3b). En condiciones de iluminación (3a), exceptuando el sensor número dos, el grupo de sensores presentan mucho menor dispersión en los datos de resistencia eléctrica en los cinco minutos de medición.

Estos resultados corroboran lo antes analizado: el método de acondicionamiento manual de los sensores no es óptimo, la heterogeneidad de la aplicación manual de la pintura conductiva y las diferencias en las distancias entre los contactos afectaron la precisión de la respuesta de los foto-resistores. Sin embargo, se insiste en la homogeneidad de los datos de resistencia eléctrica en el tiempo, la cual es una característica que, sí se puede relacionar con la calidad de los materiales sintetizados de forma independiente a las áreas de oportunidad del método de acondicionamiento manual.

Al valorar la resistencia eléctrica, ahora por área de muestra, es posible identificar tres grupos que presentan valores similares en condiciones de oscuridad, tal como se muestra en la Figura 4. Estas similitudes son consistentes con los espesores obtenidos.

La Figura 5 muestra una propuesta de aplicación de estos foto-resistores. Es un circuito acondicionado para un LDR que puede excitar la base de un transistor BC548 si hay una incidencia de luz. Como resultado, un LED se enciende cuando hay luz y se apaga cuando no la hay.

Adicionalmente y como parte de la evaluación de los foto-resistores, se realizó el diseño y fabricación de un dispositivo de iluminación solar que incluyó uno de los componentes desarrollados, el cual se muestra Figura 6.

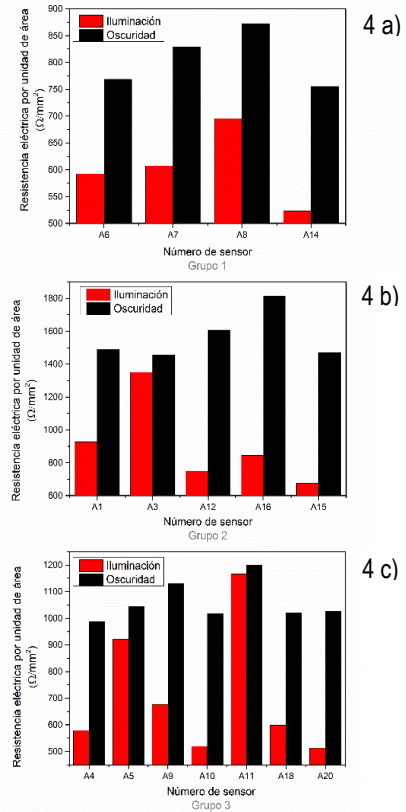


Figura 4. Resistencia eléctrica por unidad de área (mm^2) de los foto-resistores en condiciones de oscuridad y de iluminación de grupos de sensores iguales espesores. Fuente: elaboración propia.

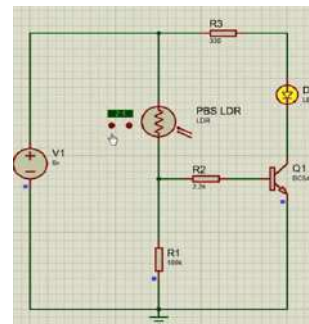


Figura 5. Circuito para la aplicación del fotosensor LDR de película delgada de PbS. Fuente: elaboración propia.

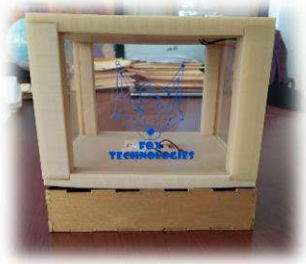


Figura 6. Dispositivo de iluminación solar funcional, que incluye en su diseño uno de los foto-resistores de PbS desarrollados en este proyecto. Fuente: elaboración propia.

El dispositivo presentó resultados positivos, logrando encender o apagar un LED en función de las condiciones de iluminación alrededor del sensor. La activación de la señal depende de la lectura que realiza un pin analógico esp32. En otras palabras, la lámpara permanece apagada en condiciones de iluminación, pero cuando el sensor es aislado de la radiación solar, la lámpara se enciende.

Evaluación de CdS impurificado con Cu (CdS:Cu)

La figura 7 muestra los resultados de la caracterización óptica de las películas de CdS. Los espectros de transmisión fueron generados mediante espectroscopía UV-Vis, obteniendo datos en función de la longitud de onda de la radiación de todo el espectro visible y parte del ultravioleta e infrarrojo cercano, para las películas de CdS dopadas con iones de cobre en tiempos variables de impurificación de 4, 8, 12 y 16 segundos.

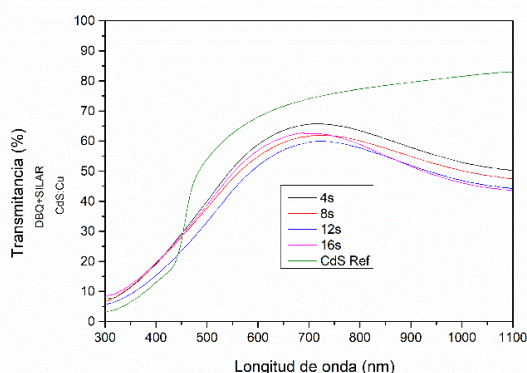


Figura 7. Espectros de transmisión de las películas de CdS (90 min) dopadas con Cu mediante SILAR. Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los espectros de la figura 7, los materiales obtenidos conservan propiedades de transmisión similares a las películas de CdS sin dopar. Encontramos que se trata de recubrimientos con alto grado de transparencia en la región visible, aunque menor al grado de transmitancias del recubrimiento de CdS puro, que alcanza el 75 a 80 % de transmisión. También se observa que los recubrimientos son opacos en la región del ultravioleta con un borde alrededor de los 500 nm.

Mediante el método de *Tauc* se determinó la energía de la banda gap (E_g) de las películas. De los resultados de la Tabla 1, se puede apreciar una tendencia en la disminución de la E_g con la incorporación de cobre, efecto que se pierde a los 16 segundos de procesamiento.

CdS: Cu 4 s	CdS: Cu 8 s	CdS: Cu 12 s	CdS: Ref. 90 min
2.674	2.649	2.603	2.636

Tabla 1. Band gaps (eV) correspondientes a los diferentes tiempos de dopaje mediante SILAR para películas de CdS. Fuente: elaboración propia.

La caracterización eléctrica preliminar de estos materiales se demuestra que el dopaje con Cu tiende a disminuir la resistividad eléctrica del material en magnitudes de unidades de mega ohms a kilo ohms. Lo anterior, clarifica el gran potencial para la aplicación de estos materiales en el diseño de fotosensores de CdS:Cu.

Evaluación de ZnS impurificado con Cu (ZnS:Cu)

Macroscópicamente las películas de ZnS cambiaron de incoloras a color ámbar como consecuencia del tratamiento SILAR con Cu. En la Figura 8 se muestra el espectro de transmisión de las películas delgadas de ZnS dopadas con cobre, mostrando la alta transmisión esperada en todo el espectro UV-Vis, y aún mayor para la película de ZnS sin dopar, también como se esperaba por el análisis macroscópico de sus características ópticas.

En estos espectros se aprecia el borde de absorción característico del ZnS, ubicado cerca de los 346 nm. Se observa también la influencia del tiempo de depósito en el índice de crecimiento o espesor de los recubrimientos, en términos generales, a mayor tiempo de depósito mayor espesor, mayor absorción y menor transmisión.

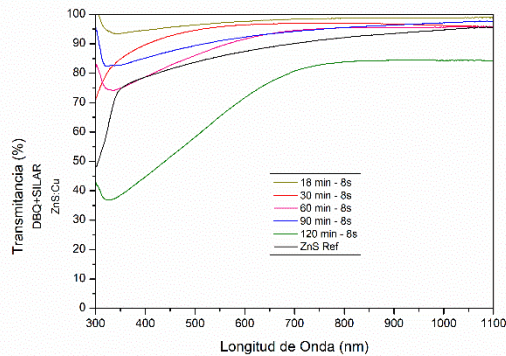


Figura 8. Espectros de transmisión de las películas de ZnS dopadas con Cu mediante SILAR. Fuente: elaboración propia.

La Figura 9 muestra la gráfica de $Tauc$ para el cálculo de las E_g de las películas de ZnS:Cu. Nótese el efecto en la modificación de esta propiedad con el aumento de depósito de la película de ZnS. Por estos resultados, se pueden esperar efectos similares en las propiedades eléctricas de este material y, en consecuencia, un buen comportamiento de estos materiales como foto-resistor controlando su espesor.

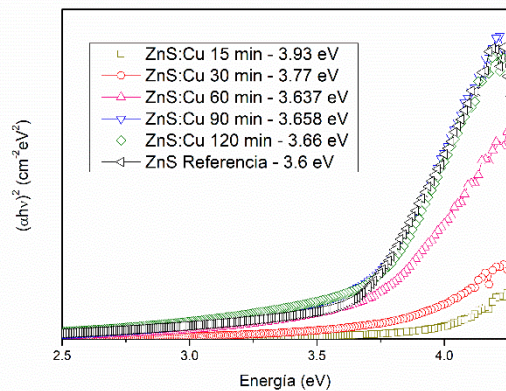


Figura 9. Gráfica de $Tauc$ para el cálculo de E_g de ZnS:Cu. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Se diseñaron, fabricaron y caracterizaron óptica y eléctricamente foto-resistores de película delgada de PbS. Las propiedades eléctricas medidas en condiciones de iluminación y oscuridad de cada foto-resistor de PbS son consistentes con la respuesta esperada para un material fotosensible. Se demostró la estabilidad de las propiedades eléctricas a lo largo del tiempo de estos foto-resistores de PbS. La dispersión de los datos de resistencia eléctrica entre componentes muestra que existen oportunidades de mejora en la metodología de acondicionamiento manual de los sensores.

Se realizó la síntesis, procesamiento y caracterización óptica de las películas dopadas de CdS y ZnS, demostrando con ello el gran potencial de CdS:Cu y ZnS:Cu como componentes electrónicos funcionales. La disminución del E_g debidos a la incorporación de Cu, se pueden correlacionar teóricamente con la disminución de la resistencia eléctrica de estos materiales.

Como perspectiva y seguimiento inmediato de este trabajo de investigación, queda la fabricación, acondicionamiento y evaluación eléctrica de componentes foto-resistores de CdS:Cu y ZnS:Cu.

Agradecimientos

Nuestro reconocimiento al Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro, por todas las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto de investigación.

Al Departamento de Metalmecánica, quienes nos brindaron su apoyo a través de jefes y auxiliares del Laboratorio Integral de Materiales y Nanotecnología y del Laboratorio de Mecánica. Agradecemos al Ing. Héctor Ruiz Espino, al Mtro. José Fernando Morones, a la Dra. Cynthia Graciela Flores Hernández, al Dr. Daniel Armando Serrano Huerta, a Juan Carlos Méndez Méndez y a Jesús Orduña Guerrero.

Agradecemos al Programa de *Nuevos Talentos Científico Tecnológico* del Estado de Querétaro, y a la División de Estudios de Posgrado e Investigación del TecNM Campus Querétaro.

El más especial de los agradecimientos a Mauricio Gabriel Santillán Pacheco, por el diseño y fabricación del prototipo mínimo viable de lámpara solar, así como por el diseño de la imagen de la marca *Fox Technologies* (registro ante el IMPI en trámite).

Referencias

- Arreola-Jardón, G., González, L., García-Cerda, L., Gnade, B., Quevedo-López, M., & Ramírez-Bon, R. (2010). Ammonia-free chemically deposited CdS films as active layers in thin film transistors. *Thin Solid Films*, *519*(1), pp. 517–520. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.08.097>
- Bergstresser, T. K., & Cohen, M. L. (1967). Electronic Structure and Optical Properties of Hexagonal CdSe, CdS, and ZnS. *Physical Review*, *164*(3), pp. 1069–1080. <https://doi.org/10.1103/physrev.164.1069>
- Biswas, R. (2021, 26 julio). Global electronics industry faces continuing supply disruptions. IHS Markit. Recuperado de: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/global-electronics-industry-faces-continuing-supply-disruptions-Jul21.html>
- Choudhury, N., & Sarma, B. (2011). Structural analysis of chemically deposited nanocrystalline PbS films. *Thin Solid Films*, *519*(7), pp. 2132–2134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.11.003>
- Cohen Cancio, F. J. (2018). Fabricación y caracterización de la celda solar con estructura PbS/CdS depositada por el método de baño químico [Tesis de Maestría]. Universidad de Sonora. Recuperada de: http://148.225.114.121/bitstream/unison/3329/1/cohencancio_franciscojaviern.pdf
- Contreras Serrato, A., Copado Padilla, B. P., Ortuño López, M. B., Barreiro Rodríguez, G., & Sánchez, J. (2018). Estudio de condiciones idóneas para la síntesis química sostenible de materiales semiconductores con propiedades optoelectrónicas, estudio de repetibilidad. *NTHE*, pp. 81–86. Recuperado de: <http://www.nthe.concyteq.edu.mx/>
- Díaz-Grijalva, O. I., Berman-Mendoza, D., Flores-Pacheco, A., López-Delgado, R., Ramos-Carrasco, A., & Alvarez-Ramos, M. E. (2019). Cu-doped CdS thin films by chemical bath deposition and ion exchange. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *31*(2), pp. 1722–1730. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02690-2>
- Heredia Cancino, J. A. (2013). Efecto del tratamiento térmico con cloruro de cadmio sobre películas de CdS libres de amonio. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Sonora. Repositorio UNISON. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/1408>
- Heywang, H., & Schauer, A. (1975). State of the Art of Thin Film Components. *ElectroComponent Science and Technology*, *2*(1), pp. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.1155/apec.2.61>
- Kelion, L. (10 de 02 de 2021). BBC NEWS MUNDO. Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-55955119>
- Khallaf, H., Chai, G., Lupan, O., Chow, L., Park, S., & Schulte, A. (2009). Characterization of gallium-doped CdS thin films grown by chemical bath deposition. *Applied Surface Science*, *255*(7), pp. 4129–4134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.115>
- Liu, F., Lai, Y., Liu, J., Wang, B., Kuang, S., Zhang, Z., Li, J., & Liu, Y. (2010). Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, *493*(1–2), pp. 305–308. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.12.088>
- Mazón Montijo, D. A. (2009). *Síntesis de películas delgadas de sulfuro de cadmio (CdS) en diferentes sustratos por depósito en baño químico (DBQ): estudio de su proceso de crecimiento* [Tesis de Maestría]. Universidad de Sonora.
- Oliva, A. I., Corona, J. E., Patiño, R., & Oliva-Avilés, A. I. (2014). Chemical bath deposition of CdS thin films doped with Zn and Cu. *Bulletin of Materials Science*, *37*(2), pp. 247–255. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12034-014-0642-9>
- Pathan, H. M., & Lokhande, C. D. (2004). Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method. *Bulletin of Materials Science*, *27*(2), pp. 85–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02708491>
- Willars-Rodríguez, F., Chávez-Urbíola, I., Ramírez-Bon, R., Vorobiev, P., & Vorobiev, Y. (2020). Effects of aluminum doping in CdS thin films prepared by CBD and the performance on Schottky diodes TCO/CdS:Al/C. *Journal of Alloys and Compounds*, *817*, pp. 152740. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152740>
- Kelly, P., & Arnell, R. (2000). Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications. *Vacuum*, *56*(3), pp. 159–172. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0042-207x\(99\)00189-x](https://doi.org/10.1016/s0042-207x(99)00189-x)
- Kumar, S., McEvoy, N., Kim, H. Y., Lee, K., Peltekis, N., Rezvani, E., Nolan, H., Weidlich, A., Daly, R., & Duesberg, G. S. (2011). CVD growth and processing of graphene for electronic applications. *physica status solidi (b)*, *248*(11), pp. 2604–2608. DOI: <https://doi.org/10.1002/pssb.201100179>
- Pentia, E., Pintilie, L., Matei, I., Botila, T., & Pintilie, I. (2003). Combined chemical-physical methods for enhancing IR photoconductive properties of PbS thin films. *Infrared Physics & Technology*, *44*(3), pp. 207–211. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1350-4495\(02\)00225-6](https://doi.org/10.1016/s1350-4495(02)00225-6)
- Saidzhonov, B., Kozlovsky, V., Zaytsev, V., & Vasiliev, R. (2019). Ultrathin CdSe/CdS and CdSe/ZnS core-shell nanoplatelets: The impact of the shell material on the structure and optical properties. *Journal of Luminescence*, *209*, pp. 170–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2019.01.052>

- Senthil, K., Mangalaraj, D., & Narayandass, S. (2001). Structural and optical properties of CdS thin films. *Applied Surface Science*, 169-170, pp. 476–479. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0169-4332\(00\)00732-7](https://doi.org/10.1016/s0169-4332(00)00732-7)
- Ves, S., Schwarz, U., Christensen, N. E., Syassen, K., & Cardona, M. (1990). Cubic ZnS under pressure: Optical-absorption edge, phase transition, and calculated equation of state. *Physical Review B*, 42(14), 9113–9118. <https://doi.org/10.1103/physrevb.42.9113>
- Fang, X., Zhai, T., Gautam, U. K., Li, L., Wu, L., Bando, Y., & Golberg, D. (2011). ZnS nanostructures: From synthesis to applications. *Progress in Materials Science*, 56(2), 175–287. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2010.10.001>
- Zavala Aznar, G. (2014). *Industria Electrónica*. Ciudad de México: ProMéxico. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/76339/141216_DS_Electronico_ES.pdf

Propiedades electrónicas-vibracionales en semiconductores de la familia III-N

Juan Manuel Ramírez García¹, José Alonso López Miranda¹, Daniel Olguín Melo²

¹UAQ-Facultad de Ingeniería-Ingeniería Física

²CINVESTAV-Unidad Querétaro

Correspondencia: ramirezjuan_333@hotmail.com;

alonso.lopez@uaq.mx; daniel@fis.cinvestav.mx

Resumen

En este trabajo estudiamos las propiedades electrónicas y vibracionales de la familia de semiconductores III-N, GaN, AlN, AlN, así como el comportamiento de la banda prohibida en función de la temperatura propia de cada material en fase cúbica desde el enfoque de primeros principios. Teniendo como principales objetivos obtener el parámetro de red, estudiar la estructura de bandas, obtener la densidad de estados electrónicos, calcular la curva de dispersión de fonones de cada semiconductor y estudiar el comportamiento de la banda de energía prohibida en función de la temperatura a través de las interacciones electrón-fonón.

Los estudios se realizaron usando la Teoría Funcional de la Densidad (DFT) con las aproximaciones del Gradiente Generalizado (GGA) y Densidad Local (LDA). Ésto nos da apertura a continuar con el análisis de efectos producidos por la interacción electrón-fonón para cerrar con la descripción total de los sistemas a estudiar.

Palabras Clave: banda prohibida, densidad de estados, electrón-fonón, estructura de bandas, fonones, parámetro de red, Teoría Funcional de la Densidad

Abstract

In this paper, it's studied the electronic and vibrational properties of the III-N semiconductors family, GaN, AlN, AlN, as well as the behavior of the band gap as a function of the temperature of each material in the cubic phase from the first principles approach. With the main objectives of obtaining the lattice parameter, studying the band structure, obtaining the density of electronic states, calculating the phonon dispersion curve of each semiconductor and studying the behavior of the band gap energy as a function of temperature through electron-phonon interactions.

The studies are carried out using the Density Functional Theory (DFT) with the Generalized Gradient (GGA) and Local Density (LDA) approximations. This previous study of electronic and vibrational properties gives a way to continue with the analysis of the effects produced by the electron-phonon interaction to close with the total description of the systems to be studied.

Keywords: band structure, density of states, phonons, band gap, lattice parameter, Density Functional Theory, electron-phonon

Introducción

Actualmente, las tecnologías de aparatos inteligentes, láseres, sensores o transistores que en la vida diaria utilizamos son posibles gracias al avance de la física, en particular a la física del estado sólido (Pollini, Mosser & Parlebas, 2001). Dichos dispositivos han sido creados partiendo de los conceptos que ésta estudia como: estructuras cristalinas, enlaces cristalinos, estructura electrónica, banda prohibida, densidad electrónica, estructura de bandas, fonones, entre otros muchos temas de relevancia (Kittel, 2005).

La comprensión de estos temas es fundamental para poder entender las propiedades electrónicas de los materiales, desde su diseño como dispositivos tecnológicos hasta la clasificación de los materiales en conductores, aislantes y semiconductores. Esta clasificación se puede determinar a través de la banda de energía (*band gap*). Ésta es un rango de energía entre la banda de valencia y la banda de conducción donde los estados electrónicos están prohibidos gracias a que el fenómeno regido por las leyes de la mecánica cuántica, donde se determinan los estados disponibles que puede ocupar una partícula acorde a la energía que posee (Atkins & Friedman, 2005).

En el presente trabajo, el estudio de la banda prohibida es una de las propiedades fundamentales para entender las propiedades físicas del material, ya que —dentro de los semiconductores, específicamente en aquellos de la familia III-N, Galio, Aluminio, Indio y Nitrógeno (nitruros)—, encontramos importantes propiedades como: alta conductividad térmica, alta dureza, elevado punto de fusión, baja sensibilidad a las radiaciones ionizantes, por mencionar algunas, que los hacen ser grandes candidatos para el desarrollo y diseño de nuevos materiales como paneles solares en satélites y materiales espintrónicos (AZO Materials, 2001).

En este contexto, estudiar la banda prohibida de estos materiales es importante para comprender algunas de sus propiedades físicas, electrónicas, térmicas, vibracionales y ópticas, las cuales son la razón de la absorción indirecta mediada por Fonones (vibraciones colectivas de la red) y el transporte de

electrones que son algunos ejemplos que podemos observar al momento de caracterizar un material. (Cyrus, Stengel & Vanderbilt, 2018).

A partir del desarrollo de la teoría de bandas en 1927 (Petrucci, Harwood, Herring & Madura, 1989), los esfuerzos por la caracterización de la banda prohibida en diferentes sistemas cristalinos han llegado a centralizarse en diferentes métodos de obtención. Dichos métodos van desde procesos experimentales como foto-reflectancia, fotoluminiscencia o absorción óptica (Ramírez Flores, Navarro Contreras, Lastras Martínez, Powell & Greene, 1994), hasta procesos teóricos empíricos (Olgún, Cardona, & Cantarero, 2002) y métodos *ab initio*, donde destaca la Teoría Funcional de la Densidad (King Smith et al., 1989).

Por otro lado, se sabe que la banda prohibida en los semiconductores tradicionales incluyendo los III-N disminuye en función de la temperatura, este comportamiento se debe a la interacción electrónica y las vibraciones de la red cuantizadas (fonones). Este fenómeno se estudió en 1976 cuando Allen y Heine (Allen & Volker, 1976) propusieron una teoría basada en la teoría de perturbación a segundo orden para calcular el efecto que tiene la interacción electrón fonón en el problema de la energía de la banda prohibida. Su teoría incluyó el término de la auto energía y el de Debye-Waller. Durante los siguientes años, Allen siguió trabajando en la implementación de su teoría en colaboración con el grupo de Cardona (Allen & Cardona, 1981).

Con los avances desarrollados para la banda prohibida, y las repercusiones que las interacciones y la temperatura causan en ella, se han reportado para los sistemas AlN, GaN e InN en su fase cúbica, cálculos de la estructura de bandas, densidad de estados, espectro fonónico, módulo volumétrico, entre otros parámetros. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos han utilizado métodos *ab initio* (Hernández Cocoltzi, Contreras Solorio, & Arriaga, 2005.), debido a la meta-estabilidad de la fase cúbica del AlN, GaN e InN. Los datos experimentales reportados son escasos y centrados en la fase Wurzita, cuya estructura cristalina pertenece al sistema

cristalino hexagonal, y solamente para el semiconductor GaN (Krystian & Friedhelm, 1997). Por otro lado, la frecuencia de los fonones solo han sido medidas experimentalmente en el punto Gamma (Harima et al., 1999.) y el comportamiento de la energía de la banda prohibida en la fase cúbica se encontró únicamente para el GaN.

Debido a los avances en el método de obtención de dichas propiedades y a los diversos estudios respecto del tema, el presente trabajo abordará un estudio de sistemas semiconductores III-N en su fase cúbica relacionando el comportamiento de la banda prohibida en función de la temperatura, para esto se estudiará la interacción electrón-fonón, además de realizar un estudio de sus propiedades electrónicas como densidad de estados, estructura de bandas, propiedades vibracionales (fonones), propiedades estructurales, parámetro de red y modulo volumétrico.

Metodología

Para realizar los cálculos estructurales, electrónicos y vibracionales se hizo uso del conjunto de códigos computacionales integrados en el software Quantum Espresso¹.

Antes de comenzar con los cálculos de propiedades electrónicas y vibracionales es necesario establecer la optimización geométrica (convergencia numérica) de cada sistema para poder trabajar con los puntos k (zona de Brillouin), energía de corte y parámetro de red adecuados en cada caso.

La optimización geométrica se realiza variando valores de la energía llegando al valor mínimo mediante un cálculo autoconsistente, donde se resuelven las ecuaciones de Khon-Sham (Kresse & Furthmuller, 1996) y se obtiene la densidad electrónica (Burke, 2007). Si la energía total del sistema cumple con un criterio de minimización impuesto, entonces se logra la autocosistencia y se pueden obtener ya las cantidades electrónicas de interés.

El método de convergencia de puntos k, energía de corte y parámetro de red se realiza haciendo un barrido de valores adecuado de la variable que se deseé conocer dejando las otras 2 variables fijas. Empezando por la obtención de puntos de alta simetría, siguiendo por la energía de corte y finalizando con el parámetro de red (Salazar Altamirano, 2020).

En el caso de este estudio se trabajó con los siguientes valores:

- Puntos k: Barrido de una red de 2x2x2 hasta una de 20x20x20 en pasos de 2
- Energía de Corte: Barrido de una energía de 10 Ry hasta una energía de 200 Ry en pasos de 10
- Parámetro de red: Barrido acorde a valores experimentales en pasos de 0.1 en a.u.

Para concluir con la obtención de valores se debe de ajustar los valores obtenidos en el parámetro de red con la ecuación de estado de Birch-Murnaghan, que determina el volumen mínimo de la celda unitaria en función de la energía del estado base (Murnaghan, 1944). A continuación, se presenta la ecuación de Birch-Murnaghan dando la energía como función del volumen.

$$E_b(V) = \frac{B_0 V}{B'_0(B'_0 - 1)} \left[B'_0 \left(1 - \frac{V_0}{V} \right) + \left(\frac{V_0}{V} \right)^{B'_0} - 1 \right] + C_b$$

Donde $V_0 B'_0$ y B_0 son los parámetros de ajuste.

Si el parámetro de red obtenido coincide con el parámetro de red experimental estudiado, estos valores son válidos para continuar con la obtención de propiedades electrónicas y vibracionales.

ESTRUCTURA ELECTRÓNICA:

La estructura electrónica se obtiene a través de los eigenestados de cualquier ecuación de Schrödinger independiente para una partícula en la cual los electrones se mueven en un potencial efectivo $V_{ef}(\vec{r})$

¹ Consultar: <https://www.quantum-espresso.org>

tal como las ecuaciones de Kohn-Sham, satisfacen la ecuación (Salazar Altamirano, 2020).

$$\hat{H}_{ef}(\vec{r})\psi_i(\vec{r}) = \left[\frac{-\hbar^2}{2m_c} \nabla^2 + \hat{V}_{ef}(\vec{r}) \right] \psi_i(\vec{r}) = \epsilon_i \psi_i(\vec{r}) \quad 2)$$

En un sólido es conveniente requerir que los estados estén normalizados y obedezcan condiciones de frontera periódicas en un volumen grande Ω que se extiende hasta el infinito. Después de un proceso matemático riguroso se llega a la siguiente ecuación de Schrödinger para cualquier \vec{k} que puede ser escrita como la ecuación matricial.

$$\sum_{m'} H_{m,m'}(\vec{k}) C_{i,m'}(\vec{k}) = \epsilon_i(\vec{k}) C_{i,m}(\vec{k}) \quad 3)$$

Donde

$$H_{m,m'}(\vec{k}) = \left(\vec{k} + \vec{G}_m | H_{ef} | \vec{k} + \vec{G}_{m'} \right) \frac{\hbar^2}{2m_e} |\vec{k} + \vec{G}_m|^2 \delta_{m,m'} + V_{ef}(\vec{G}_m - \vec{G}_{m'}) \quad 4)$$

Las dos últimas ecuaciones son las ecuaciones de Schrödinger base para un cristal periódico, que conducen a las propiedades de las bandas electrónicas (Marini, Poncé, & Gonze, 2015).

VIBRACIONES DE RED:

Se calculará la dispersión de fonones a partir del método de desplazamiento finito, que además de proporcionar información de la estructura electrónica, proporciona energía y estrés del sistema, así como la fuerza sobre cada átomo. Se pueden obtener estructuras cristalinas en equilibrio minimizando las fuerzas residuales y optimizando los tensores de estrés. Cuando un átomo en un cristal se desplaza de su posición de equilibrio, las fuerzas sobre todos los átomos del cristal se elevan. El análisis de las fuerzas asociadas con un conjunto sistemático de desplazamientos proporciona una serie de frecuencias de fonones (Togo y Tanaka, 2015).

Resultados

Se hizo el análisis para los 3 sistemas AlN, GaN y InN en estructura FCC como se muestra en la Figura 1, siendo las esferas de color verde los átomos de N y las esferas de color rosa los átomos de la familia III.

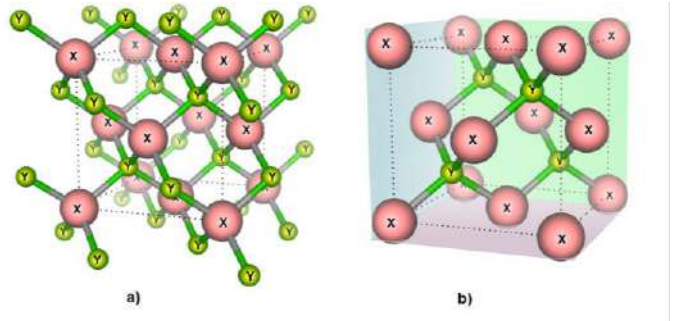


Figura 1. Estructura General Cristalina del Sistema. a) Estructura FCC de los compuestos de la familia III-N, b) Celda primitiva de la estructura. Fuente: elaboración propia

Los átomos con X representan a los elementos Ga, Al y In. Los átomos Y representan los elementos N.

PARÁMETRO DE RED Y MÓDULO VOLUMÉTRICO

La Figura 2 muestra el resultado obtenido para el parámetro de red del Nitruro de Aluminio.

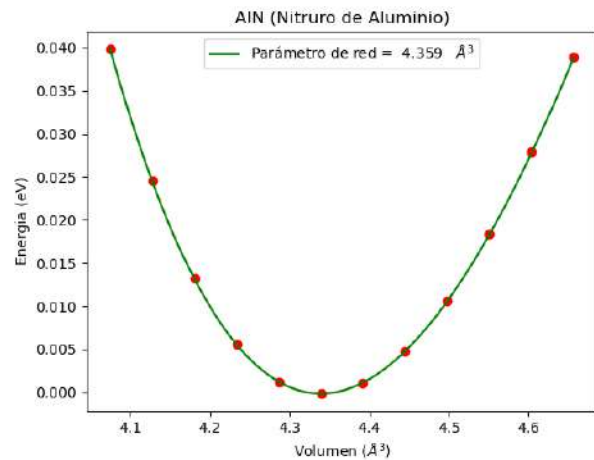


Figura 2. Ajuste de valores de parámetro de red con la ecuación de estado de Birch-Murnaghan. Fuente: elaboración propia

Para complementar la investigación, se muestran los resultados obtenidos con menor error relativo acorde

a los valores experimentales de cada compuesto para el parámetro de red en la Tabla 1 y el módulo volumétrico en la Tabla 2.

Compuesto	Pseudopotencial	Obtenido (Å)	Experimental (Å) [14]	Error (%)
AlN	PZ	4.359	4.373	0.32
GaN	PBESOL	4.521	4.505	0.35
InN	PBESOL	5.012	5.020	0.16

Tabla 1. Parámetro de red óptimo de cada semiconductor obtenido mediante DFT (Olguín, Cardona, & Cantarero, 2002).

Compuesto	Pseudopotencial	Obtenido (GPa)	Experimental (GPa) [5]	Error (%)
AlN	PBESOL	198.7	202.0	1.63
GaN	PBESOL	188.7	185.0	2.00
InN	PBESOL	132.6	136.0	2.50

Tabla 2. Módulo volumétrico óptimo de cada semiconductor (González Rejón, 2020).

BANDA PROHIBIDA (GAP) Y DENSIDAD DE ESTADOS

La Figura 3 muestra la comparación de la estructura de bandas junto a su densidad de estados total para el InN con el pseudopotencial PZ-BHS.

InN con el pseudopotencial PZ-BHS.

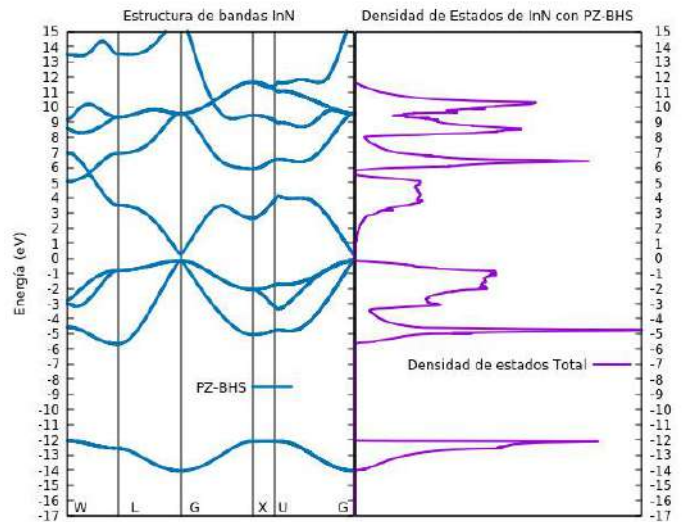


Figura 3. Datos de la estructura de bandas y densidad de estados total obtenidos con DFT. Fuente: elaboración propia

La Figura 4 muestra la comparación de la estructura de bandas junto a su aporte del orbital S y P a la densidad de estados total para el InN con el pseudopotencial PZ-BHS.

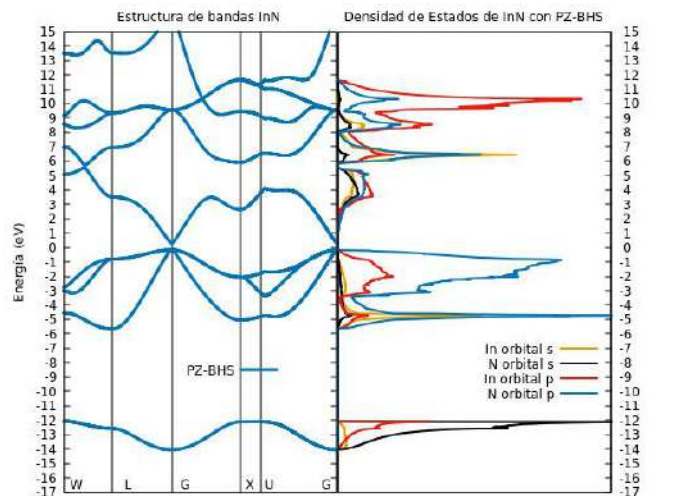


Figura 4: Datos de la estructura de bandas y contribuciones de orbitales para la densidad de estados total. Fuente: elaboración propia

Para complementar los resultados obtenidos a continuación, se muestran los resultados obtenidos con menor error relativo acorde a los valores experimentales de cada compuesto para la banda prohibida en la Tabla 3.

Compuesto	Pseudo	Obtenido (eV)	Experimental (eV) [14]	Error
AlN	BLYP	4.37	5.93	26.31 %
GaN	PZBHS	3.00	3.2	6.25 %
InN	PZBHS	0.47	0.56	16.07 %

Tabla 3. GAP directo obtenido con los mejores pseudopotenciales mediante DFT, (Olguín, Cardona, & Cantarero, 2002).

El valor obtenido de los orbitales d para la densidad de estados de cada sistema es muy pequeño, por lo que no fue posible mostrarse gráficamente.

FONONES

La Figura 5 muestra las ramas acústicas y ópticas de los fonones de GaN en los puntos de alta simetría en contraste con los valores experimentales.

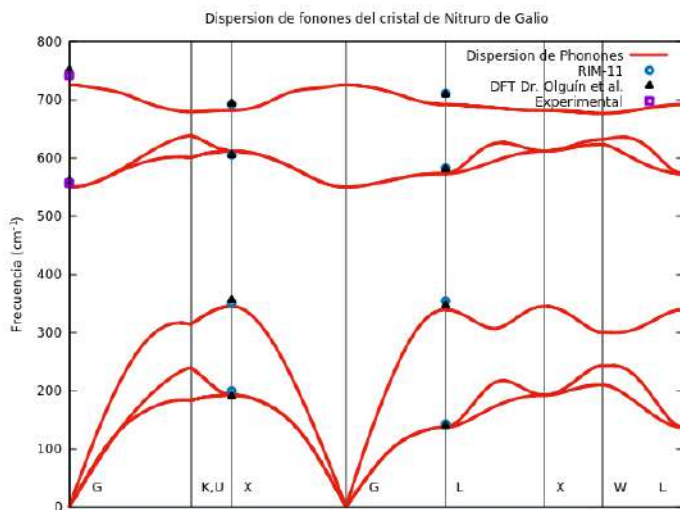


Figura 5. Datos obtenidos vs datos experimentales para dispersión de fonones del GaN. Fuente: elaboración propia

Para complementar la gráfica, se muestran los valores exactos en la Tabla 4, los cuales fueron obtenidos mediante DFT y su error relativo a los valores experimentales hallados en la literatura.

Compuesto	Pseudo	Obtenido (cm ⁻¹)	Experimental (cm ⁻¹) [14]	Error
AlN	PZ	889	902	1.39 %
GaN	PZ	725	740	2.03 %
InN	PZ	558	588	5.09 %

Tabla 4. Valores experimentales vs obtenidos en el punto Gamma para la dispersión de fonones, (Olguín, Cardona, & Cantarero, 2002).

Como se observa en la Tabla 4, los valores experimentales y obtenidos coinciden de buena manera.

Discusión

Parámetro de red y módulo volumétrico

El pseudopotencial PZ, PBESOL de funcional LDA y GGA respectivamente ofrecen un mejor acercamiento al parámetro de red debido al sistema sencillo que tenemos por problema. El hecho de que la energía intercambio correlación es homogéneo en cada punto, ayuda a calcular de mejor manera el parámetro de red. En el caso del pseudopotencial PBE, BLYP y PZ-BHS tienen un error "aceptable" del 2 % por lo que no se les puede descartar como "buenos" pseudopotenciales.

El pseudopotencial PBESOL y PZ-BHS de funcional GGA ofrece un mejor módulo volumétrico ya que toma el gradiente en cada punto del espacio. Y en el caso del pseudopotencial PBE, PZ y BLYP tiene un error más grande, ya que subestiman el módulo volumétrico. Sin embargo, esto no los clasifica como un mal pseudopotencial para el resto de las propiedades.

Banda prohibida y densidad de estados

Para la estructura de bandas el mejor candidato para acercarse al valor real en cada punto de alta simetría, es el pseudopotencial BLYP de funcional GGA, el pseudopotencial PZ-BHS y PZ de funcional LDA, ya que éstos fueron los que tuvieron un menor error al momento de compararse en los puntos de alta simetría. Por parte del pseudopotencial PBE, PBESOL sobrestiman la estructura de bandas, quedando por encima de algunos puntos experimentales en la banda de conducción.

Finalmente, la densidad de estados de cada pseudopotencial no cambió en ningún caso. Todos los pseudopotenciales tienen la misma tendencia.

FONONES

Para los fonones, el pseudopotencial que mejor funcionó fue el PZ y el PZ-BHS, ya que en los puntos de alta simetría es donde mejor encaja con la literatura reportada. Para el caso de los pseudopotenciales PBE, PBESOL y BLYP, el valor de los fonones en su parte óptica era sobrestimado, lo cual provocó que los puntos teóricos estuvieran muy por encima de los puntos experimentales. Los puntos de alta simetría tomados en cuenta fueron los puntos Gamma, X, y L.

Conclusiones

Se observó que cualquier pseudopotencial a utilizar para obtener la propiedad de parámetro de red de un semiconductor de la familia III-N es aceptable, ya que está en el error conservado de 2 %. Además, para obtener el módulo volumétrico en cualquier caso de la familia III-N, el mejor candidato es el pseudopotencial PBESOL.

Se descubrió que, para el caso de la familia de semiconductores III-N, tanto la estructura de bandas, banda prohibida y fonones no tiene una buena aproximación con los pseudopotenciales PZ, PZ-BHS, y BLYP. Además, se obtuvo una mayor descripción de cómo son las propiedades electrónicas y vibracionales, obtenidas a través de primeros principios.

El haber obtenido las propiedades electrónicas y vibracionales de manera exitosa nos permite dar perspectiva a los posibles resultados de los efectos electrón-fonón. Éstos nos terminarán de describir qué es lo que sucede con la banda prohibida al momento de tomar en cuenta los modos de vibración propios del cristal con los electrones de los átomos de cada compuesto. Lo que nos dará finalmente una gráfica de como el GAP varia acorde a la temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se contó con el apoyo de Luis Aguilar, Alejandro De León, Carlos Flores y Jair García del Laboratorio Nacional de Visualización Científica Avanzada de la UNAM, Juriquilla.

Referencias bibliográficas

- Allen, P.B. & Cardona, M. (1981). Theory of the temperature dependence of the direct gap of germanium. *Physical Review B*, 23(4), p. 1495.
- Atkins, P., & Friedman, R. (2005). *Molecular Quantum Mechanics*. Moscú: Oxford University Press
- Burke, K & Friends. (2007). *The ABC of DFT*. University of California: Irvine.
- Cyrus E. D., Stengel, M. & Vanderbilt, D. (2018). Current-density implementation for calculating flexoelectric coefficients, *Phys. Rev. B* 98, pp.100
- González Rejón P. Y. (2020). *Cálculo empírico de la interacción electrón-fonón en semiconductores de la familia III-N: GaN, AlN e InN* [Tesis de Maestría], Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Querétaro.
- Havlík, T. (2008). Effect of The Electronic Structure on leaching of Sulphide Semiconductors. En *Hydrometallurgy*(pp.294-308). United States: Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering.
- Hernández Cocolletzi, H., Contreras Solorio, D.A., & Arriaga, J. (2005). *Applied Physics A*, 81(5), pp.1029-1033.
- Hohenberg, P. y Kohn W. (1964). *Phys. Rev.*, 136, B864.
- King Smith, R.D., Needs, R.J. Heine, V. & Hodgson, M.J. (1989) *EPL (Europhysics Letters)*, 10(6):569.
- Kittel, C. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. California: John Wiley & Sons, inc.
- Krystian, K. & Friedhelm B. (1997). Ab initio lattice dynamics of BN and AlN: Covalent versus ionic forces. *Physical Review B*, 56(12), pp. 7404.
- Marini, A., Poncé, S., & Gonze, X. (2015). Many-body perturbation theory approach to the electron-phonon interaction with density-functional theory as a starting point. *Phys. Rev. B* 91, p. 89
- Nakamura, K. G. (2018). *Coherent Control of Optical Phonons in Solids*. marzo 02 2021, de Encyclopedia of Interfacial Chemistry Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/phonon>
- Olguín, D. Cardona, M., & Cantarero, A. (2002). Electron-phonon effects on the direct band gap in semiconductors: LCAO calculations. *Solid state communications*, 122(11), pp, 575-589.

- Perdew, J. P., y Yue, W. (1986). Accurate and simple density functional for the electronic exchange energy: Generalized gradient approximation. *Phys. Rev. B*, 33, pp. 8800–8802.
- Perdew J.P., & Zunger A. (1981). Self-interaction correction to density-functional approximations for many-electron systems *Phys. Rev. B* 23, p. 5048.
- Petrucci R.H., Harwood W.S., Herring F.G., & Madura. J.D. (1989). *General Chemistry Principles and Modern Applications*. Macmillan Publishing Co: New Jersey.
- P. B. Allen & Volker, H. (1976). Theory of the temperature dependence of electronic band structures. *Journal of Physics C Solid State Physics*, 9(12), pp. 2305.
- Salazar Altamirano, S., A. (2020) Aislantes topológicos: estudio de propiedades electrónicas y vibracionales de compuestos Semi-Heusler desde primeros principios [Tesis de Licenciatura], Universidad Autónoma de Querétaro.
- Togo, A. & Tanaka, I. (2015) First principles phonon calculations in materials science. *Scr. Mater.*, pp. 108:1-5.

Generación de energía eléctrica solar: caso de estudio en Amealco de Bonfil, Qro.

José Alberto Cano Piña¹, Ezequiel Sánchez Reza¹, Mario Trejo Perea¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, 76010.

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Santiago de Querétaro 76010, México.

Correspondencia: esanchez80@alumnos.uaq.mx mtp@uaq.mx

RESUMEN

La amenaza del cambio climático debido al calentamiento global, provocado en gran parte por la quema de combustibles fósiles, ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables como el sol y el viento. Querétaro es un buen lugar para obtener energía solar, debido a su ubicación geográfica. Principalmente, se eligió como objeto de estudio una peletería-casa residencial en la que posteriormente determinamos la potencia que demanda, misma que nos permitió realizar los cálculos tanto del número de paneles solares como de temas de posicionamiento; una vez realizados los cálculos se procedió a la determinación del tipo de panel a utilizar y los elementos que consigo se requieren para realizar su instalación y por tanto su conexión en serie como la interconexión a la red eléctrica. Con el diseño e implementación del sistema fotovoltaico (PV) instalado, nos permitió tener una disminución en el cargo de energía eléctrica de \$20,000.00 pesos M. N. a \$8,998.00 pesos M. N., lo que representó un ahorro aproximado de hasta 50 % del cargo bimensual.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, red eléctrica, sistema fotovoltaico

ABSTRACT

The threat of climate change due to global warming (largely caused by the burning of fossil fuels) has prompted the search for renewable energy sources such as the sun and wind, Queretaro is a good place to obtain solar energy due to its geographical location. The main object of study was chosen as a residential house-fur in which we later determined the power demand, which allowed us, with this data, to calculate the number of solar panels and positioning issues; once the calculations were done, we proceeded to determine the type of panel to use and the elements that are required for installation and therefore its connection in series and the interconnection to the power grid. With the design and implementation of the photovoltaic (PV) system installed, we were able to reduce the electric energy charge from \$20,000.00 pesos M. N. to \$8,998.00 pesos M. N., which represented an approximate savings of up to 50 % of the bimonthly charge.

KEYWORDS: climate change, power grid, photovoltaic system

I. INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía en el mundo; sin embargo, éstos recursos son finitos. La amenaza del cambio climático, debido al calentamiento global provocado en parte por la quema de combustibles fósiles, ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables como el sol y el viento. La energía solar es una fuente de energía sostenible, respetuosa con el medio ambiente y rentable, disponible en todo el mundo. Por esa razón, las tecnologías solares que utilizan PV han penetrado en el mercado de producción de energía eléctrica, con las ventajas adicionales de trabajar en silencio y con bajo costo de mantenimiento (Gil, et al., 2019). Es por ello que la energía solar fotovoltaica ofrece oportunidades para generar valor económico, reducir los impactos ambientales y, sobre todo, mejorar aspectos sociales como aumentar la calidad de vida y el acceso a la energía a precios asequibles. Por ejemplo, a nivel mundial, la capacidad de generación de energía ascendió a 6000 gigawatts (GW), de los cuales 1985 GW provinieron de fuentes renovables, de los cuales 222 GW son de los sistemas fotovoltaicos instalados. Así, la capacidad instalada de generación de energía renovable fue de sólo 13.5 % (Rosas, Zenón, Morillón, 2019).

Sucupira y Castro (2021) en su investigación realizada sobre los métodos de captura de energía solar expresan que la planificación correcta en el despliegue de paneles fotovoltaicos en ubicaciones exteriores con mayor incidencia solar alcanza un alto valor en la obtención de energía. Dicho lo anterior, aspectos como la latitud, el día del año, la pendiente o el ángulo de inclinación, el ángulo azimutal de la superficie, la hora del día y el ángulo de la radiación incidente son aspectos que afectan la radiación solar recibida en un módulo fotovoltaico. Sin embargo, los únicos factores controlables son el ángulo azimutal de la superficie y el ángulo de inclinación en un módulo fotovoltaico instalado correctamente (Božiková, et al. 2021; Dai y Bai 2021). En efecto, Alves y Ruttkay (2021) mencionan que factores como el comportamiento humano, el coste inicial de las medidas y las pérdidas físicas de las viviendas son factores que intervienen en cómo se comporta factores como el ahorro energético y el que se favorezca a la

eficiencia del sistema debido a que los consumidores valoran mucho el ahorro inmediato y no tienen en cuenta la importancia de ahorro futuro.

Por otra parte, la implementación de un sistema central de almacenamiento de energía (ESS) puede favorecer en aliviar variaciones de voltaje de la red en escenarios de alta penetración de sistemas fotovoltaicos (control de energía inyectada para mantener la variación de voltaje dentro de estándar), teniendo como ventaja energía disponible entregada a la red (Rodríguez et al. 2021).

El objetivo de la presente investigación es generar energía solar con el motivo de determinar en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, la cantidad de paneles solares que son necesarios para satisfacer las necesidades con las que cuenta el establecimiento, siendo éste, una peletería-casa residencial para así lograr disminuir el cargo por consumo de energía eléctrica, mismo que beneficiaría a la economía del propietario.

Se prevé para el establecimiento tener una reducción en el cargo por consumo de energía de la red eléctrica de hasta un 50 % de lo que se paga actualmente.

II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

México está ubicado en América del Norte dentro de la franja latitudinal desde 14 a 33°. Su territorio cubre aproximadamente 2.000.000 km^2 con una densidad de población de 57 habitantes por km^2 . El clima en el país es mayormente templado en el centro y tropical en las costas, donde la temperatura oscila entre 29 y 34 °C en verano y entre 5 y 8 °C en invierno. La irradiación solar media en todo el país es de 5.56 $\frac{kWh}{m^2}$ por día (Rosas et al., 2019); en el verano, la irradiación global en México es la más alta en el noreste y Península de Baja California, con valores promedio de 7 – 8 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En el resto del país, el promedio es de 5 a 6 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En invierno, la irradiación global presenta los valores más bajos en el norte del país y el Golfo de México, con valores que oscilan entre 2 y 2.5 $\frac{kWh}{m^2}$ por día. En la zona sur de México, estos valores incrementan un poco a medida

que la latitud disminuye, alcanzando valores altos de hasta $4.5 - 5 \frac{kWh}{m^2}$ por día (Figura 1).

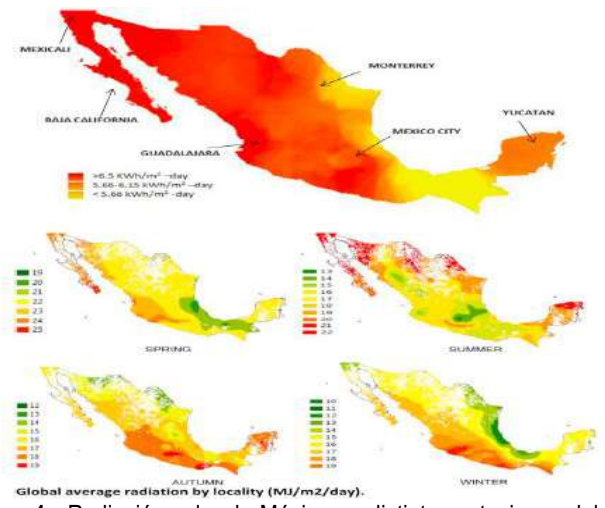


Figura 1. Radiación solar de México en distintas estaciones del año (Rosas et al., 2019).

Específicamente en la localidad de Amealco de Bonfil, Querétaro, se tiene que la peletería-casa residencial en cuestión se encuentra entre dos zonas con radiación solar óptimas para el correcto funcionamiento de los paneles, ya que se cuenta con una capacidad instalable de 105.13 Mega Watts (MW) y un potencial de generación de 261.94 Giga Watts hora anuales (GWh/a) en una zona 1 de 2.25 km^2 , (Figura 2), la segunda zona en un área de 16.29 km^2 existe una capacidad instalable de 762.37 MW y un potencial de generación de 1,895.98 GWh/a, (Figura 3) (Atlas Nacional de Zonas de con alto Potencial de Energías Limpias [AZEL])



Figura 2. Capacidad instalable y generación de potencia. Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Capacidad instalable y generación de potencia. Fuente: elaboración propia.

Para la determinación del PV, se necesitan distintas consideraciones para ello se toma en cuenta el cálculo de consumo eléctrico (E). El consumo de energía para un uso final dado (i) puede describirse como un producto de tres parámetros: la intensidad energética del uso final (li), saturación de uso final (Si) y nivel agregado o unidad utilizada para expresar la intensidad energética (Z). La intensidad energética se define como el uso de energía per cápita o por hogar y, en consecuencia, Z sería la población total o número de hogares, respectivamente (Ecuación 1) (Rosas et al., 2019):

$$E = Z \sum_l \sum_k I_{ik} S_{ik} \quad (1)$$

La cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir el consumo eléctrico está en función del área geográfica, ya que depende de la radiación solar de la ubicación. La energía media mensual que deben suministrar los paneles (E_p), se puede calcular como (Ecuación 2) (Rosas et al., 2019):

$$E_p = \left(\sum_i E_i \right) + \text{perdidas} \quad (2)$$

Se consideran las horas pico de sol (HPS) como unidad, debido a que esta representa el valor numérico de la energía suministrada a 1 m^2 de superficie horizontal. La HPS se define como las horas de sol a una intensidad de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$. Esto se obtiene con (Ecuación 3) (Rosas et al., 2019):

$$HPS = \frac{\text{radiacion total diaria} \left(\frac{Wh}{m^2} \text{ dia} \right)}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (3)$$

Una consideración importante en el cálculo de los paneles va en función de la declinación solar (δ) la cual se calcula respecto del ángulo de oblicuidad de la elíptica (ε_{ob}), el cual tiene un valor constante, también va en función del día juliano (n_j) del año, donde 1 de enero es $n_j=1$ y 31 de diciembre $n_j=365$. Por ello la formula para conocer la declinación solar es (Ecuación 4) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\delta = \varepsilon_{ob} \sin \left[\frac{360(284+n_j)}{365} \right] \quad (4)$$

En el cálculo de la inclinación adecuada intervienen factores como es el ángulo horario (ω), el cual está considerado bajo la siguiente tabla con relación a un horario basado en las horas donde el sol permitiría a los paneles solares captar radiación solar (Tabla 1).

Hora	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
------	------	------	------	------	-------	-------

ω	90°	75°	60°	45°	30°	15°
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
0°	-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°

Tabla 1. Relación entre la hora y el ángulo horario ω (Tejeda y Gómez, 2015).

De igual manera, se debe tener en consideración la altura solar (h) la cual está dada por, δ , la latitud (ϕ) y ω (Ecuación 5) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\sin h = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (5)$$

El acimut solar es importante al hacer la corrección de inclinación en una instalación de paneles solares, este está en función de δ , ω , h (Ecuación 6) (Tejeda y Gómez, 2015).

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos h} \quad (6)$$

Para el cálculo del número de panel, generalmente, se utiliza el promedio de radiación en las diferentes estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) con la corrección de la colocación del panel en un plano inclinado óptimo por localidad con base en la información de la corrección se realiza con la ecuación relativa al ángulo de incidencia de la radiación del haz sobre una superficie, θ , con respecto a ϕ , δ , pendiente (β), es (Ecuación 7) (Rosas et al., 2019):

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (7)$$

El número de paneles a instalar será determinado por el valor del cociente de E_p y la energía que realmente es capaz de producir cada panel a lo largo del día o la temporada del año. El factor de corrección de 0.9 incluye las pérdidas adicionales, éstas debidas por posible suciedad en los paneles, reflexión en los momentos de incidencia oblicua y la potencia del panel P (Ecuación 8) (Rosas et al., 2019):

$$\text{Número de paneles} = \frac{E_p}{0.9 * P * HPS} \quad (8)$$

III. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto, se eligió como objeto de estudio una peletería-casa residencial en el municipio de Amealco de Bonfil, Querétaro, misma que nos permitirá conocer los alcances que puede tener la implementación de un PV. Es por ello que se busca tomar conciencia y demostrar a la población que actualmente tiene algún establecimiento similar o con mayor potencia de energía demandada, observar los beneficios que se pueden tener para así considerar si le es conveniente tomar alternativas que no dañen al medio ambiente y, por supuesto, favorecer la economía del propietario.

Es importante mencionar que, para la determinación de la cantidad de paneles solares, se debe tener en cuenta cual es la potencia instalada con la que cuenta el establecimiento al que se le adicionará el PV, para ello, se llevó a cabo la metodología mostrada en Figura (4):

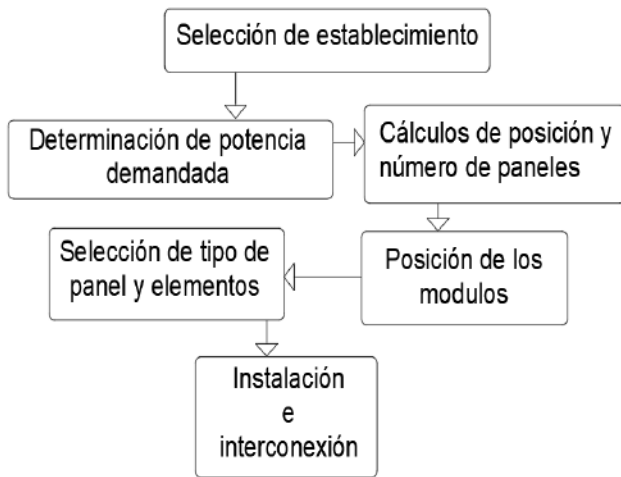


Figura 4. Metodología. Fuente: elaboración propia.

Para la determinación de la potencia que consume el establecimiento se utilizó como punto de referencia un recibo de energía eléctrica que nos fue proporcionado por el propietario (Figura 5), en él se puede observar claramente cuál es el consumo que se tiene, en tal caso de 2436 kilowatt hora (kWh), lo anterior es posible determinar realizando la suma de la demanda que tiene cada uno de los artículos instalados como son los refrigeradores, focos o cualquier otro artículo que necesite de energía eléctrica para su funcionamiento y la energía media

mensual que deben suministrar los paneles se determinó con la Ecuación (2), debido a que existen pérdidas en el momento de que se encuentran instalados, dicho de otra forma, en funcionamiento, es por ello que así se consideran en la ecuación.



Figura 5. Recibo de energía eléctrica. Fuente: elaboración propia.

Posterior a la obtención de potencia, es necesario saber cuál es la radiación solar que se tiene en la localidad, para ello, se consideró como referencia la radiación promedio que menciona Rosas et al. (2019) con la que podemos determinar las HPS implementado la Ecuación (3). La razón para utilizar el concepto de HPS es que permite evaluar el rendimiento energético con mayor rapidez. Cabe mencionar que los experimentos de laboratorio y las pruebas de paneles fotovoltaicos se realizan generalmente bajo la condición de una intensidad solar máxima (1 kW / m²), y los resultados se expresan típicamente en función de esta condición. Por lo tanto, la potencia nominal de un panel se refiere típicamente a esta intensidad. Cabe aclarar que el resultado de HPS es puramente matemático y coincide con las definiciones de la HPS de acuerdo con los tiempos dados (Rosas et al. 2019). Posteriormente es necesario determinar la declinación solar implementando la Ecuación (4), la altura solar mediante la Ecuación (5), el acimut solar con la Ecuación (6), de igual forma el ángulo de incidencia de la radiación del haz sobre la superficie, Ecuación (7).

Posterior al trabajo de escritorio, la determinación de la posición de los paneles solares se refleja con los valores obtenidos de la implementación de las ecuaciones (4, 5, 6 y 7).

Una vez obtenidos los datos anteriores, la determinación del número de paneles que se utilizaron fueron determinados al implementar la Ecuación (8) la cual al realizar el cociente de E_p y la energía que es capaz de producir un panel a lo largo del día; en ella se considera un factor de corrección el cual hace referencia a la verdadera forma en que trabajan los paneles solares, hablando en términos de generación de energía a lo largo del día en presencia del sol en su posición tal que el panel trabaja con mayor eficiencia por lo tanto se calcularon un total de 35 paneles a necesitar con base en las demandas del usuario.

Para ello, el espacio donde se realizó el posicionamiento de los módulos fue en la azotea del establecimiento misma que nos favoreció dado que es propiedad privada y no tendría ningún caso que llegara a incidir sobre ellos la presencia de alguna sombra generada por algún obstáculo.

En tal caso, el panel que se tomó en consideración fue de la marca Eagle Plus 72 (Figura 6), 340-360 W con modulo mono cristalino, con una eficiencia del 18.57 % capaz de generar 340 W, con 10 años de eficiencia a su máximo rendimiento y 25 años más con rendimiento de 90 % a 80.2 %, el tipo de celda que emplea es Mono-crystalline PERC de dimensiones 156 x 156 mm, siendo un total de 72 celdas por panel, respecto al panel completo tenemos que sus dimensiones son 1956 x 992 x 40 mm, con un peso de 26.5 kg, en la parte superior del panel se tiene un vidrio anti reflejante de 4mm de espesor el cual ayuda a captar de mejor manera, también contiene una caja de conexión IP67 Rated ubicada en la parte trasera del panel.

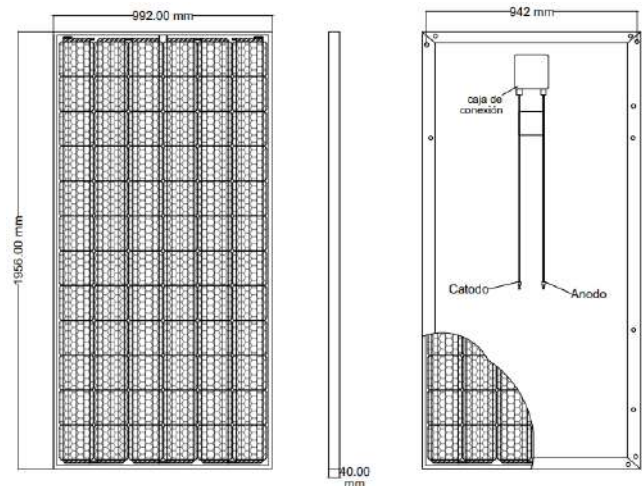


Figura 6. Dimensiones y Representación de panel fotovoltaico. (Eagle Plus, 2022)

El inversor de corriente considerado es de la marca Growatt MTPL-US, con una eficiencia máxima de 97.8 %; recibe un voltaje de corriente directa (CD) de hasta 600 V esto a cuanto entrada, de salida este inversor genera una potencia nominal de corriente alterna (CA) de 8000 W, con una corriente máxima de salida de 33.5 A, sus características físicas son que cuenta con dimensiones de 361 x 607 x 249 mm, un rango de temperatura de operación de $-25+60^{\circ}\text{C}$, una pantalla de LCD, número de MPPTs de 3, máxima corriente por MPPT de 9.5/19 A, máxima potencia FV por MPPT de 3250/6500 W. Para la bajada del cableado se seleccionaron tubos de 25.4 mm o 1"; y cajas ovales ROSC con entrada y salida a 45° con rosca, interruptor termomagnético.

Para la instalación de los paneles solares se utilizó una estructura de acero la cual fue unida por medio de implementación de soldadura misma que fue fijada en los apoyos utilizando tornillos. Los paneles solares que se utilizados se acomodaron en forma consecutiva para así no desaprovechar el espacio y que se albergaran de forma eficiente el total de paneles que se instalaron. Para su conexión, se realizó en un arreglo en serie; en la instalación, se utilizó tubo tipo *conduit* el cual dirige los conductores eléctricos que provienen de la azotea al tablero donde se realizó la conexión con el inversor. Para el caso de la interconexión que se realizó, en ésta se utilizó un interruptor termomagnético y posterior a ello se

encontraba el medidor de luz y la bajada proveniente de la red eléctrica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagrama de funcionamiento determinado, con base en las demandas del usuario y a su presupuesto, se comienza con la instalación de los paneles, después se procedió con la instalación de paneles en serie, debido a que así es más eficiente la captación de energía. Posteriormente, se sacan las líneas hacia el inversor, ya que como resultado del análisis se optó por no usar el banco de baterías, dicho inversor funciona como un puente entre la energía de los paneles y la energía suministrada por la red, para así poder proporcionar la corriente adecuada para todos los aparatos dentro de la peletería-casa residencial y la casa; el suministro de energía convencional proviene de la línea convencional, pasa en primer instancia por el medidor bidireccional para su registro, en dicho medidor se estará registrando la energía producida por los paneles para de igual forma tener un registro y así poder saber del consumo total que porcentaje provendrá de cada elemento (Figura 7).

nombre de La Zacatecana perteneciente al señor Adrián Sánchez (Figura 8).



Figura 8. Fachada principal. Fuente: elaboración propia.

La instalación final de los paneles se hizo en tipo techumbre en la parte superior del establecimiento utilizando una estructura de acero como soporte basándonos en los cálculos de inclinación y del número de paneles requeridos, dándonos el siguiente resultado como se muestra en la Figura 9.

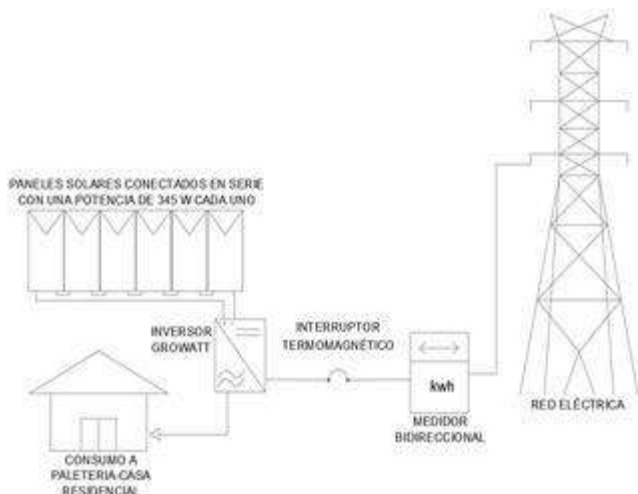


Figura 7. Diagrama de interconexión. Fuente: elaboración propia.

La ubicación del establecimiento es Calle Melchor Ocampo sin número, colonia la Loma, Amealco de Bonfil, Querétaro México. Con coordenadas 20° 11' 33.84" N y 100° 09' 19.05" W. La peletería lleva el



Figura 9. Instalación de paneles en la azotea. Fuente: elaboración propia.

La conexión de los paneles se realizó en serie conectando, desde la caja de conexión individual por panel, su ánodo y cátodo guiándolos hacia un costado en donde se juntaban todas las conexiones por cada línea de panel, convirtiéndolo en una sola línea para

poder hacer la bajada de energía hacia el inversor (Figuras 10a, 10b).



Figura 10. Instalación de los paneles: a) Caja de conexión y b) Conexión en serie. Fuente: elaboración propia.

Para la bajada del cableado, se instalaron tubos de 25.4 mm o 1" para hacer las vueltas del cableado se utilizaron cajas ovales ROSC con entrada y salida a 45° con rosca (Figuras 11a, 11b).



Figura 11. Conexiones: a) Bajada de cables y b) Caja oval ROCS. Fuente: elaboración propia.

Instalación del inversor con el cableado de los paneles proveniente de la parte superior, así como la línea por parte de la red eléctrica e interruptor termomagnético consolidando la interconexión de la energía solar y la convencional, dándonos como resultado el tablero listo para hacer la instalación eléctrica de la peletería-casa residencial (Figura 12).



Figura 12. Conexión de inversor e interruptor termomagnético. Fuente: elaboración propia.

Se colocó el medidor bidireccional el cual estará recibiendo el registro de energía proveniente de los paneles y de la corriente convencional (Figura 13).



Figura 13. Medidor bidireccional. Fuente: elaboración propia.

V. CONCLUSIÓN

El consumo generaba un costo de \$19,972.00 pesos M. N., tal como fue mostrado en el recibo antes de aplicar el descuento por el uso de los paneles solares, lo que nos indica cuánto era aproximadamente lo que se pagaba con anterioridad. No obstante, ese precio era variable dependiendo de muchos factores, como las condiciones climáticas, ya que esto altera principalmente las cámaras refrigerantes de la peletería. Actualmente, con la instalación fotovoltaica el costo disminuyó a \$8,998.00 pesos M. N. Por otro lado, el consumo de energía eléctrica disminuyó de un 60 a 62 %. Con la instalación de los paneles solares se tiene una aportación de \$10,974.00 pesos M.N. lo que da un descuento directo en el recibo de energía eléctrica pagado bimestralmente.

Tomando en cuenta que la instalación tuvo un total de inversión de \$450,000.00 pesos M.N. debido a los costos finales proporcionados por el proveedor. Si se considera que en promedio se estarán ahorrando aproximadamente \$10,974.00 pesos M.N., basados en el primer recibo que se tuvo por parte del usuario. Asimismo, si consideramos que la vida útil de los paneles instalados va de 12 años a su 100 % de eficiencia y otros 13 años de 90% a 80.2 % esto con base en la eficiencia del material de 18.57 % en

captación, podemos deducir que en los 12 años de eficiencia al máximo se pagaran aproximadamente 72 recibos con un ahorro considerado de \$10,974.00 pesos M.N. Lo anterior implica que se habrá tenido un ahorro de \$790,128.00 pesos M.N., lo que nos da ganancias frente al costo de inversión de los paneles, el cual se recuperará en los primeros 41 meses. Así, nos quedarían en los siguientes 12 años un ahorro libre del costo de inversión de \$340,128.00 pesos M.N. En cuanto a los otros 13 años a un promedio de eficiencia promedio de 85.1 %, se tendrá un ahorro estimado de \$9,253.77 pesos M.N. por recibo, bajo la idea de que en los 13 años se pagará un total de 78 recibos, el ahorro estimado en estos 13 años será de \$721794.06 pesos M.N. Así, habrá un ahorro final a lo largo de la vida útil de los paneles de aproximadamente \$1,061,922.06 pesos M.N. Por lo que podemos concluir que el proyecto fue un éxito y que la energía producida por los paneles puede ser costosa en cuanto a la instalación. Sin embargo, fue posible observar en el resultado de esta investigación que ésta no es más que una inversión a largo plazo debido a su alto beneficio. En conclusión, esta investigación nos permitió mostrar que la energía solar es, por mucho, una energía barata a largo plazo. Además, permite contribuir a evitar emisiones de CO₂ a la atmósfera, ahorrar en dinero y contribuir a la sociedad con el acceso a una energía más barata.

VI. REFERENCIAS

- Alves, R. M., y Ruttkay, F. O. (2021). Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil. *Energy and buildings*, 243. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111013.
- Atlas Nacional de Zonas de con alto Potencial de Energías Limpias (AZEL). Recuperado de: <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>
- Božiková, M., Bil'cik, M., Madola, V., Szabóová, T., Kubík, L., Lendelová, J., y Cviklovič, V. (2021). The effect of azimuth and tilt angle changes on the energy balance of photovoltaic system installed in the southern Slovakia region. *Appl. Sci.* 11(8998). DOI: 10.3390/app11198998
- Dai, Y., Bai, Y. (2021). Performance improvement for building integrated photovoltaics in practice: A review. *Energies*, 14 (178). DOI: 10.3390/en14010178.
- Gil-Antonio, L., Saldivar, B., Portillo-Rodríguez, O., Ávila-Vilchis, J.C., Martínez-Rodríguez, P.R., Martínez-Méndez, R. (2019). Flatness-Based Control for the Maximum Power Point Tracking in a Photovoltaic System. *Energies*, 12(1843). DOI: 10.3390/en12101843

- Rosas, F. J., Zenón, O. E., y Morillón, G. D. (2019). Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic system using geographical information system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116(1094212). DOI: 10.1016/j.rser.2019.109412.
- Rodríguez, E., Vázquez, N., Arau, J., Osorio, R., Medina, F., y Hernández, C. (2021). Central energy storage system to reduce the harmful effects of PV systems under a high penetration scenario. *Electronics*, 10(2418). DOI: 10.3390/electronics10192418.
- Sucupira, L., Castro, G. J. (2021). Review of energy harvesting for buildings based on solar energy and thermal materials. *CivilEng*, 2, pp. 852-873. DOI: 10.3390/civileng2040046.
- Tejeda, M. A. y Gómez, A. G. (2015). Prontuario solar de México. Recuperado de: [http://www.ucoj.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-\(noviembre-de-2015\)_6.pdf](http://www.ucoj.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-(noviembre-de-2015)_6.pdf)

Hallazgos sobre prácticas sexuales y placer en mujeres jóvenes

Edith Viridiana Carranza Álvarez, Úrsula Gayou Esteva

FBA, UAQ. viridianacarranza26@gmail.com

Resumen

El presente artículo busca mostrar los hallazgos sobre las prácticas sexuales de las mujeres así como conocer si tiene relación, o no con el placer. Se presentan los resultados de una investigación realizada con mujeres estudiantes entre los 15 y 19 años de edad, inscritas en un colegio de bachilleres ubicado al norte de la ciudad de Querétaro. La metodología utilizada correspondió al enfoque cuantitativo, de corte transversal y descriptivo. A través de la aplicación de un cuestionario se obtuvieron los siguientes resultados: 1) las mujeres se encuentran en constante riesgo en sus prácticas sexuales, 2) las prácticas sexuales de las jóvenes son genitalizadas y falocéntricas, atravesadas por el desconocimiento de su propio cuerpo, de su placer y sobre todo por los mitos sobre el orgasmo femenino; 3) una tercera parte de ellas enuncian que no han experimentado un orgasmo ni por relaciones sexuales coitales ni por la masturbación; 4) persisten mitos y creencias religiosas que limitan la atención de su salud sexual y reproductiva. Por lo anterior es que podemos concluir que es necesario reforzar la educación de la sexualidad y dirigirla hacia un enfoque integral que considere no solamente lo reproductivo, sino que refiera al placer, a la diversidad, a la libertad y a lo importante que es que, en este caso específico, las mujeres, se apropien de su cuerpo y tengan las habilidades para tomar sus propias decisiones en favor de su desarrollo.

Palabras clave: Sexualidad, mujeres, prácticas sexuales, placer, orgasmo femenino.

Abstract

The aim of this paper is to show the findings on women's sexual practices and, at the same time, to know if they are related to pleasure. The results of a research conducted with female students between 15 and 19 years of age enrolled in a high school located north of the city of Querétaro are presented. The methodology used was quantitative, cross-sectional, and descriptive. Through the application of a questionnaire, the following results were obtained 1) women are at constant risk in their sexual practices. 2) The sexual practices of young women are genitalized and phallogocentric. They are affected by the lack of knowledge of their own bodies, their own pleasure and, above all, by the myths about the female orgasm. 3) One third of them claim not to have experienced orgasm either during intercourse or masturbation. 4) Myths and religious beliefs persist and limit their sexual and reproductive health care. Therefore, we can conclude that it is necessary to reinforce sexual education and orient it towards a comprehensive approach that considers not only reproductive issues, but also refers to pleasure, diversity, freedom, and specially, that women can appropriate their own bodies and have the skills to make their decisions in favor of their personal development.

Keywords: Sexuality, women, sexual practices, pleasure, female orgasm.

Introducción

La experiencia de la primera relación sexual es todo un suceso para las y los jóvenes, pues con ello comienza una etapa de exploración de la sexualidad y de conocimiento de su propio cuerpo. De tal forma que, se abre la posibilidad de vivir experiencias agradables, así como algunas otras que pueden no serlo. En este vínculo relacional, queda expuesta la salud cuando no se toman las medidas necesarias para evitar un embarazo o una infección de transmisión sexual (ITS); en el caso específico de las mujeres, las complicaciones de algunas de estas ITS podrían causarles, incluso, la muerte. La construcción social de la sexualidad basada en la reproducción tiene consecuencias significativas para el desarrollo psicosocial de las mujeres debido a que perpetúa las desigualdades de género a través de mandatos, tales como el cumplimiento del rol de madre, preservar la virginidad hasta el matrimonio, la predestinación al espacio privado y a la labor de cuidados, llevar a término embarazos no deseados, entre otras. Esto las expone a condiciones desfavorables al no ser autónomas respecto a su cuerpo y su sexualidad; además, las hace vulnerables ante situaciones de violencia y ver limitada su autonomía para la toma de decisiones libres.

Justamente porque durante esta etapa de exploración se abren muchas posibilidades hacia los riesgos que pueden poner en vulnerabilidad de manera particular a las mujeres, es necesario que cuenten con capacidad de agencia para ejercer su sexualidad libremente en beneficio de su desarrollo.

Los resultados que aquí se presentan se desprenden de una investigación realizada con mujeres estudiantes entre los 15 y 19 años de edad inscritas en un colegio de bachilleros ubicado al norte de la ciudad de Querétaro. En un afán por reconocer aquellos aspectos de la sexualidad alejados de su función reproductiva, describiremos cuáles son las prácticas sexuales de las mujeres jóvenes y, a su vez, conocer si hay relación, o no, con el placer.

A continuación, retomamos algunos aspectos teóricos necesarios para el abordaje de la sexualidad, las mujeres y las juventudes.

Comenzaremos diciendo que el legado de la época victoriana sigue vigente hasta nuestros días, “la sexualidad es cuidadosamente encerrada. [...] La familia conyugal la confisca. Y la absorbe por entero en la seriedad de la función reproductora” (Foucault, 1998, p. 9). Cualquier práctica sexual alejada del objetivo de la reproducción y centrada en el placer, es mal vista, desaprobada. Así mismo, los preceptos religiosos permean el comportamiento sexual humano y determinan los valores sobre los cuales éste se cimienta. La postergación del inicio de las relaciones sexuales hasta el matrimonio y con fines reproductivos, la carga moral y la culpa que se otorga a la sexualidad, limita la exploración libre de la misma. Como afirma Amuchástegui (2000), los discursos católicos dominantes clasifican y estigmatizan las prácticas sexuales (p. 416).

La evolución de la metodología anticonceptiva y la incorporación de tecnologías para la prevención del embarazo han permitido tener más control sobre la reproducción para postergarla hasta el momento más favorable o impedirlo. Con lo anterior, se ha ido transformando la noción de la sexualidad que conlleva un cambio en las prácticas sexuales. De acuerdo con la Asociación Mexicana para la Salud Sexual A.C. (AMSSAC), mencionó, en el 2021, que las prácticas sexuales “son patrones de actividad sexual presentados por individuos o comunidades con suficiente consistencia como para ser predecibles”. Con lo anterior, podemos comprender que las prácticas sexuales cambian con el tiempo, acorde con el progreso de cada sociedad y a las transformaciones sociales.

Ahora bien, es necesario mencionar que con prácticas sexuales nos referimos al inicio de la vida sexual, el número de parejas sexuales, el uso y negociación de metodología anticonceptiva, las relaciones sexuales de riesgo, la masturbación, el

cuidado del cuerpo, la autoexploración, entre otras. Es importante mencionar que dichas prácticas no son estáticas y que van variando entre generaciones; sin duda alguna, con el paso del tiempo se van diversificando ante la presencia de múltiples factores: la globalización, la influencia de los medios de comunicación masiva, las redes sociales, entre otros. Del mismo modo, el reconocimiento de los derechos sexuales y reproductivos ha contribuido a este cambio de paradigma gracias a los instrumentos internacionales que funcionan como mecanismos de defensa y promoción de los derechos humanos. La ampliación de la conceptualización de sexualidad, realizada por la Organización Mundial de la Salud, en el 2002, a través de la convocatoria de especialistas, representa un esfuerzo para colocar en el mapa a la sexualidad integral y que no solo se priorice a la salud reproductiva por encima de ésta.

La educación sexual en México se ha caracterizado por corresponder predominantemente al enfoque biologicista y preventivo. Esto ha propiciado que las juventudes reconozcan con mayor claridad los derechos reproductivos, que aquellos que refieren a la libertad, al establecimiento de sus vínculos o a la capacidad de decidir. Dicho sesgo se vuelve una limitante cuando hablamos de desarrollo de habilidades, conocimientos y actitudes hacia la sexualidad. Por consiguiente, entre las mujeres jóvenes hay un mayor reconocimiento de los derechos dirigidos hacia los servicios de salud sexual y reproductiva, la distribución de metodología anticonceptiva, la planificación familiar, así como a la información y orientación en el tema. Resaltemos aquí el hecho de que el reconocimiento no es igual al ejercicio de tales derechos, pues aun cuando se saben acreedoras a estos beneficios, no siempre los solicitan a pesar de que se encuentren a su alcance y en su margen de acción.

Desde la mirada adultocéntrica, “el ejercicio de los derechos sexuales y reproductivos genera polémica y confrontación entre distintos sectores de la sociedad

y sus visiones del mundo, pues involucran la sexualidad” (Herrera y Cairo, 2009). Algunas jóvenes, influenciadas por esta perspectiva, adoptan estas posturas y estas actitudes que rechazan las manifestaciones de la sexualidad, más aún cuando se trata de la sexualidad de las mujeres. Basado en lo anterior, el análisis sobre educación sexual integral, conocimientos y actitudes en sexualidad en adolescentes escolarizados (2014) fue realizado con jóvenes de 15 a 18 años de 45 escuelas públicas y privadas de educación media superior de las cinco regiones del país, en zonas urbanas y rurales por el Instituto Nacional de Salud Pública. De acuerdo con los datos que ofrece, el inicio de vida sexual se reportó en el 28 % de las mujeres. Así mismo, reportan que el 85.7 % de ellas inició su vida sexual con su novio(a) y el 11.7 % con su amigo(a). Respecto al cruce de las variables sobre el inicio de vida sexual y el uso de anticonceptivos, dicho análisis señala que, 1 mujer de cada 4 (25.7 %) que inician su vida sexual no utilizaron anticonceptivos en esa primera relación sexual. Entre los métodos más utilizados por las mujeres en su primera relación sexual, destaca el condón con el 68 %.

Otra de las cuestiones que nos parece importante mencionar debido a su relación con las prácticas sexuales de las mujeres es el placer femenino. Es menester señalar que también carga sobre sí secuelas muy significativas de la época victoriana donde “la sexualidad femenina que saliera de ese cerco [el reproductivo] era castigada con severidad; si una mujer tenía orgasmos con frecuencia o, peor aún, se masturbaba, era considerada disfuncional, loca, incontenible y peligrosa para la sociedad” (Aldana, 2008, p. 32). La permanencia de estos imaginarios ha tenido gran influencia en las vivencias de las mujeres pues, socialmente hablando, persiste la preocupación sobre el placer sexual como un peligro que hay que controlar para no promover la libertad sexual y, en el caso de ellas, la promiscuidad.

Si bien el reconocimiento del derecho al placer se encuentra en construcción en cuanto a la apropiación del mismo por parte de las mujeres, en el terreno social, se enfrenta a una sociedad que se muestra renuente a su aceptación o a siquiera abordar el tema. La socialización de las mujeres en el ámbito de la sexualidad integra una serie de restricciones y consecuencias en el plano personal (un embarazo, una ITS) y en el plano social (rechazo y el estigma). Es decir, el tema del placer, específicamente del orgasmo, no es abordado ni por las familias ni por las instituciones educativas; hay muchos mitos y tabús al respecto. Declara Sanz (2012) que:

aunque afortunadamente cada vez se da en menor proporción, aún se puede considerar que bastantes mujeres están alienadas de su erótica, [...] no tienen claramente conciencia de las fuentes de su placer y de su rico mundo de sensaciones; o las rechazan como tales para no <<sentir>> o bien tratan desesperadamente de imitar la erótica del varón. (p. 46)

Si bien, la experiencia del orgasmo es muy personal y cada quien puede definirla de distinta manera, consideramos que es una forma de que las mujeres conozcan su cuerpo por todo lo que esta práctica sexual implica. La exploración posibilita el autoconocimiento y que identifiquen los puntos donde perciben el placer.

El reconocimiento de las mujeres como sujetos de placer ha generado nuevos escenarios en los que los reflectores se posan sobre conocer las maneras en las que viven su sexualidad ante esta apertura en el ejercicio de la misma. Sin embargo, aún persisten varios mitos en torno al mismo entre los que se pueden mencionar los siguientes: el orgasmo se alcanza únicamente con la penetración, que es necesario tener una pareja para alcanzarlo, que es una sensación exclusiva para las mujeres y la meta al tener relaciones sexuales, entre otros.

Para que las mujeres tengan la posibilidad de vivir la experiencia del placer sexual, podemos decir que juegan en contra muchos factores: los sociales, religiosos, educativos o de acceso a la información. Sin embargo, los más trascendentes en este sentido serán las limitaciones que ellas interpongan para la exploración de su cuerpo.

Método

El corpus de datos para este proyecto corresponde al enfoque cuantitativo. El alcance estuvo definido por los resultados obtenidos fue de carácter descriptivo para tener una visión general sobre la sexualidad de las mujeres. El procedimiento para la selección aleatoria de los elementos muestrales fue el siguiente: todas aquellas mujeres que ingresaron al centro de cómputo el día 27 de febrero de 2020.

La unidad de análisis estuvo integrada por las 826 alumnas de una institución de educación media superior, con estos criterios de inclusión: tener entre 15 y los 19 años de edad y estar inscritas en el plantel educativo al momento de la aplicación. El cálculo de la muestra se realizó con ayuda del programa STATS 2.0; el tamaño de la misma fue de 178 mujeres con los criterios de inclusión ya mencionados. Obtuvimos en total 185 cuestionarios respondidos a través de la plataforma KoboCollect, la cual permite la creación de formularios digitales para recoger información.

El cuestionario fue piloteado con 10 mujeres de similares características a la población objetivo, con el propósito de identificar errores y problemas en la plataforma, así como definir el tiempo necesario para resolverlo. Si bien el cuestionario tuvo un alcance mayor a los resultados que se exponen en el presente artículo, en esta ocasión nos enfocaremos en los resultados obtenidos respecto al ejercicio de la sexualidad y el placer.

Su distribución por categorías de análisis, la podemos consultar a continuación:

Tabla 1.
Distribución del cuestionario.

Cuestionario sobre prácticas sexuales	
Categoría	Variable
Género	Autonomía física
	Relaciones afectivas
	Roles y estereotipos
Prácticas sexuales	Salud sexual y reproductiva
	Información y experiencia sexual
	Autoexploración y placer
Ciudadanía sexual	Derechos sexuales y reproductivos
	Participación

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Las referencias sociodemográficas de las mujeres que participaron en este estudio permiten afirmar que, en su mayoría, son provenientes de familias nucleares y de familias extendidas. Predominan las familias pequeñas, con 1 y 2 hijo/as. Prevalce la religión católica, pues 3 de cada 4 se identifican como tal. El nivel educativo de estas familias se encuentra entre la educación básica y media superior, predominando la primera. Las alumnas consideran su situación económica familiar entre regular y buena.

Durante esta etapa, se establece los primeros noviazgos y por ello se indagó sobre si durante los últimos 12 meses tuvieron novio/a o pareja: el 63 % de las mujeres respondió que se encuentra en una relación actualmente. También se preguntó sobre si tienen o no autorización para tener novio/a o pareja, de donde se obtuvo que 75 % de las mujeres dice que nadie en su familia les prohíbe tener novio/a o pareja; mientras que el 23.7 % manifiesta que sí hay una prohibición y que está proviene principalmente

de la madre (38 %) y el padre (63 %). Sin embargo, podemos identificar que entre quienes no tienen dicha autorización, más de la mitad (65 %) mantiene actualmente una relación de este tipo. Se preguntó con cuántos novio/as, parejas, ligues, *frees*, chavo/as han compartido una relación y encontramos que las mujeres han tenido en promedio 3.9 novio/as o parejas y que la mayoría de ellas solo han tenido 1.

En cuanto al inicio de la vida sexual, se encontró que el 31 % del total de participantes ha tenido relaciones sexuales y la edad promedio de tal inicio es de 15.6 años.

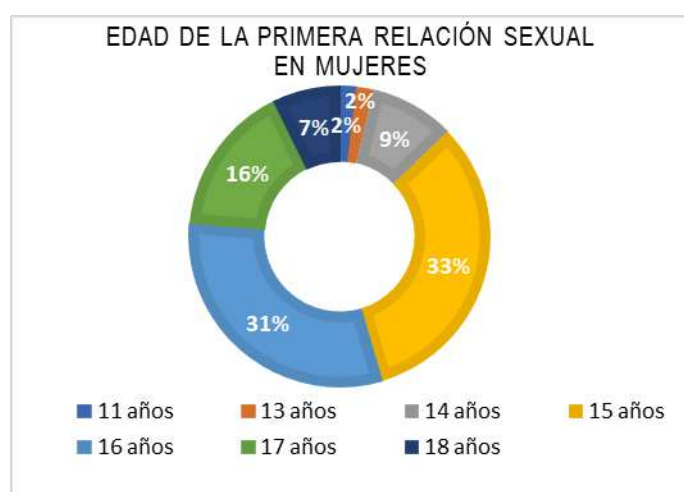


Figura 1. Edad de la primera relación sexual en mujeres. Fuente: elaboración propia.

Se encontró también que la persona con la que tuvieron su primera relación sexual es la pareja (81 %); un conocido, *free* o amigo (13.7 %); un familiar (1.7 %) y otro (3.40 %).

El 68.9 % de las mujeres utilizaron un método anticonceptivo en su primera relación sexual; el más usado fue el condón masculino (92.5 %) y la pastilla de emergencia (7.5 %). Se hallaron evidencias que muestran que, posteriormente a la primera relación sexual, se diversifica los métodos anticonceptivos que utilizan las jóvenes. Ellas refieren nuevamente al condón y a las pastillas anticonceptivas y, además, al uso del coito interrumpido como una forma de prevenir un embarazo (4 %).

Respecto a quienes no utilizaron metodología anticonceptiva en su primer encuentro sexual (correspondiente al 31 % del total de mujeres que han tenido relaciones sexuales), el 38.8 % dicen que fue porque no habían hablado previamente del tema; el 16.5 de ellas no lo creyó necesario, y el 16.5 de las participantes se dejaron llevar por el momento. En este mismo sentido, también se encontró que hay mayor índice de uso de metodología anticonceptiva en la primera relación sexual que en las posteriores, pues las participantes reportan que actualmente sólo el 43 % usan algún método anticonceptivo. Quizá esto se deba al temor fundado desde la educación sexual con enfoque preventivo donde se refiere al embarazo como una consecuencia del inicio de la vida sexual. Posteriormente, conforme se tiene experiencia y se familiariza con una vida sexual activa, se adquiere cierta confianza y se abandonan las prácticas de cuidado en lo que a un embarazo o una ITS se refieren.

Aun cuando las mujeres señalan sobre el uso de algún anticonceptivo, el 79% reporta que han tenido relaciones sexuales sin protección. Estas mismas mujeres han recurrido al uso de la pastilla de emergencia al menos una vez. Lo anterior nos permite inferir que el uso de metodología anticonceptiva se vuelve aleatorio y que recurren a lo que en el momento tengan a la mano. Las relaciones sexuales de riesgo se vuelven una constante entre las jóvenes, pues se encontró que el 56 % de mujeres con vida sexual activa no está utilizando métodos anticonceptivos en la actualidad que las mantengan seguras y les permitan decidir sobre su reproducción.

Se ha dejado ver la estrecha relación que existe entre las variables relaciones sexuales sin protección y uso de la pastilla de emergencia. Lo anterior se sostiene en que el 72 %, es decir 3 de cada 4 mujeres han recurrido al uso de estas al menos una vez en su vida sexual activa. Esto implica un riesgo para ellas por el desorden hormonal que las pastillas provocan.

Respecto a la atención de su salud sexual y reproductiva, se preguntó si han acudido a consulta con un/a ginecólogo/a y solo el 22 % respondió que sí; mientras que el 77 % nunca ha acudido debido a que en sus respuestas indican “No lo veo necesario”, “No sé”, “No he tenido tiempo” y “Por pena y/o vergüenza”. En la Figura 2, se integran las principales respuestas obtenidas sobre el motivo que las mujeres encuestadas han tenido para no acudir a consulta ginecológica.



Figura 2. Motivo por el que no acudieron a consulta ginecológica.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, quisimos saber cuántas de ellas se han realizado el papanicolaou y solo el 2.7 % ha acudido a practicarse este estudio médico. Recordemos que el porcentaje de mujeres con vida sexual activa fue del 31 % y que la recomendación es realizarla una vez al año ya que da inicio la vida sexual.

Avanzando en el tema, preguntamos sobre si alguna vez se habían realizado la autoexploración de los senos: el 47 % respondió que sí y el 51 % nunca lo ha hecho. Lo anterior se acompaña con el dato que compartimos anteriormente, mismo que nos permite señalar que hay porcentajes muy bajos en cuanto a la atención de la salud sexual y reproductiva.

Se averiguó si las mujeres que participaron en este cuestionario alguna vez se han mirado completamente desnudas frente a un espejo: el 71 % dijo haberlo hecho. En contraste, preguntamos si habían visto su vulva con ayuda de un espejo y el 74 % respondió que no. Vemos aquí que, si bien hay una exploración del cuerpo, se tiene restricción sobre aquellas zonas que hacen referencia a lo sexual. De esta manera es que se puede hacer notar que las mujeres no atienden a su salud sexual y reproductiva y que las prácticas de atención y cuidado están atravesadas por creencias y mitos; además, acudir con profesionales de la salud sexual les genera pena o vergüenza.

La masturbación en las mujeres alcanza un porcentaje del 21%, es decir 2 de cada 10 mujeres se masturban. La frecuencia en la masturbación es de 1 a 3 veces por semana, lo que alcanza el 82 %; la frecuencia de 4 a 7 veces tuvo un 2.5 % al igual que la frecuencia más de 8 veces a la semana (ver Figura 3). En este mismo sentido, preguntamos si han utilizado algún juguete sexual o algún otro objeto para estimularse sexualmente y únicamente el 1.6 % lo ha hecho.

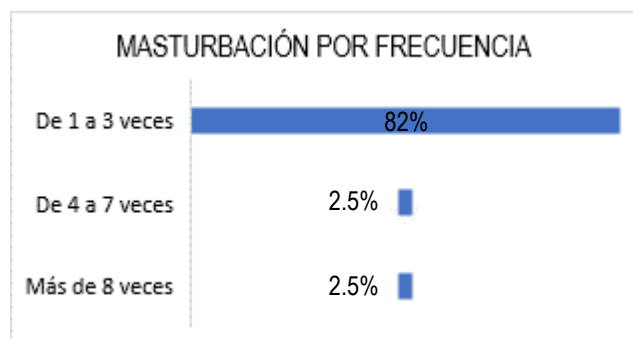


Figura 3. Masturbación por frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

Conocer la noción que tienen sobre el orgasmo fue otra de las preguntas incluidas en el cuestionario: el 28 % (aproximadamente, una de cada cuatro) dijo haberlo experimentado. Lo definieron con sus propias palabras y se encontró diversidad en las respuestas desde quienes dejaron el espacio en blanco hasta quienes hacen referencia a variadas

expresiones de tal hecho, a través del cuerpo. A continuación, las principales respuestas obtenidas:

Tabla 2.

Definiciones de orgasmo

Experiencia corporal	"Algo que se produce en el cuerpo cuando sientes placer" "Sentir sensaciones en la parte íntima" "Excitación"
Cómo llegar al orgasmo	"Cuando te masturbas, llegas a un placer llamado orgasmo" "Estimulación del clítoris" "Placer que se tiene al momento de que se introduce algo a la vagina"
El orgasmo ligado a las relaciones sexuales	"Cuando te sientes satisfecha con el acto que se está haciendo" "Un punto donde encuentras mucho placer al tener relaciones sexuales" "Cuando te dan placer" "Cuando te satisfacen" "Es cuando la mujer siente placer en el acto sexual y se vienen"
El orgasmo como fluido	"Es un fluido que se genera a partir de una satisfacción sexual" "Es como el semen" "Cuando sientes bien y sale algo" "Punto de excitación, produciendo eyaculación"
Experiencia poco accesible para las mujeres.	"Es algo que es muy muy difícil de provocar en la mujer" "Es un sentimiento o sensación de placer que no con cualquier persona lo llegas a tener y es importante en los seres humanos experimentarlo alguna vez"
Desinformación sobre el orgasmo	"Células sexuales que se generan". "Sonido que se produce cuando sientes placer sexual"

Fuente: Elaboración propia.

En el mismo tenor, en la Figura 4 presentamos la relación entre mujeres que han tenido relaciones sexuales, con mujeres que han tenido un orgasmo.



Figura 4. Orgasmos en mujeres que han tenido relaciones sexuales.
Fuente: Elaboración propia.

Del total de mujeres que han tenido relaciones sexuales (representadas por el 31% de la muestra), el 63% ha tenido un orgasmo; de éstas últimas, más de la mitad se ha masturbado. Dos mujeres dicen no haber experimentado el orgasmo aun con la masturbación.

De estas mujeres que han tenido relaciones sexuales (nos referimos nuevamente al 31% de la muestra), quienes no han experimentado un orgasmo, es decir el 34% de las mujeres, refieren no saber qué es o lo definen en referencia con las relaciones sexuales coitales y como “algo muy difícil de provocar en la mujer”. Es relevante mencionar que del total de mujeres que han tenido relaciones sexuales y que no han experimentado un orgasmo, el 90% no se ha masturbado. Esto nos hace considerar que además de que dejan la responsabilidad de su placer en el otro(a), queda claro que no buscan otras formas de llegar al orgasmo y que no exploran su cuerpo.

Las mujeres que han experimentado un orgasmo y que aún no han tenido relaciones sexuales representan el 11.2%. Ellas lo han sentido a partir de la masturbación y en sus definiciones de orgasmo hablan de clítoris, estimulación, estímulo nervioso, satisfacción, placer. Lo que nos permite inferir que, al menos en este pequeño grupo de mujeres, hay una mayor práctica de la exploración de su cuerpo pues 2 de cada 3 han visto su vagina con ayuda de un espejo

y 1 de cada 3 se ha practicado la exploración de los senos. La constante sigue siendo sin duda la escasa atención a la salud sexual y reproductiva pues sólo 1 de ellas ha acudido a revisión especializada de un(a) ginecólogo(a).

El consumo de pornografía es otra de las prácticas que buscamos representar en este apartado, así que preguntamos quiénes han visto pornografía y obtuvimos los siguientes resultados: el 29.7% de las mujeres dice haberlo hecho. Las principales vías de acceso para la obtención de este tipo de material son las páginas de internet, las redes sociales y la televisión.

Discusión y conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que las mujeres se encuentran en constante riesgo en sus prácticas sexuales puesto que no hacen uso de aquellos recursos como la orientación médica o la metodología anticonceptiva para decidir sobre su reproductividad o evitar contraer una ITS.

Además, sus encuentros sexuales no siempre tienen como resultado un orgasmo puesto que, una tercera parte de ellas enuncian que no lo han experimentado ni por las relaciones sexuales coitales ni por la masturbación.

Persisten mitos y creencias religiosas que limitan la atención de su salud sexual y reproductiva, aunadas al miedo y la vergüenza que las mujeres sienten que alguien más vea su cuerpo. Esto retribuye en una omisión de cuidados para sí mismas puesto que no acuden a realizarse los estudios pertinentes para prevenir cualquier situación de salud.

Con referencia al análisis sobre educación sexual integral, conocimientos y actitudes en sexualidad en adolescentes escolarizados (2014), encontramos similitud con el inicio de la vida sexual (28 %), aunque con una diferencia de 3 puntos arriba (31 %) en el caso del diagnóstico realizado en el plantel educativo en el que se centró esta investigación. De igual manera, el inicio de la vida sexual ocurre

principalmente con el novio o pareja, en ambos estudios.

El hecho de que no utilicen metodología anticonceptiva desde su primera relación sexual nos lleva a deducir que en los encuentros posteriores reducirá su utilización. Esto nos permite plantearnos la siguiente pregunta: ¿qué es lo que motiva a las jóvenes a usar o no usar la metodología anticonceptiva? Finalmente, antes de llevar a término un embarazo, tienen otras opciones como la pastilla de emergencia que es el penúltimo recurso para evitarlo o el aborto (aún con barreras legislativas para practicarse dentro del estado de Querétaro).

La omisión del uso de algún anticonceptivo no solo pone a las jóvenes en situaciones de riesgo de un embarazo no planeado o la transmisión de alguna ITS. Además, las coloca en situaciones de vulnerabilidad como el rechazo familiar, la deserción escolar, la dependencia económica, la acentuación de condiciones de pobreza, entre otras.

Entre los métodos más utilizados en el caso de los resultados obtenidos por el cuestionario aplicado para esta investigación, encontramos que el condón masculino fue usado por el 92.5 % de las mujeres que sí utilizaron metodología anticonceptiva en su primera relación sexual. Esto puede deberse a la popularidad de este método anticonceptivo, a su amplia difusión en campañas de salud, a lo accesible que puede ser en su costo y disponibilidad en establecimientos comerciales.

Los noviazgos son relevantes en la vida de las jóvenes, pues durante el bachillerato casi 7 de cada 10 se encuentra en una relación afectiva. Recordemos que la persona con la que en su mayoría inician su vida sexual es la pareja (8 de cada 10). Así que, además del vínculo afectivo, pueden llegar a establecer un vínculo sexual con esta persona. Aún con las restricciones que algunas de las jóvenes

encuentran en casa para iniciar una relación de noviazgo, buscan la manera de mantenerla. Si desde el imaginario social, el noviazgo se vincula con las relaciones sexuales y, además, se encuentra atravesado por la restricción en los permisos, se evidencia aquí la regulación que existe sobre el inicio de la vida sexual de las mujeres. El control sobre el cuerpo limita su autonomía física y, por lo tanto, su marco de acción; cuando este tiende a ser muy restrictivo, ellas recurren a estrategias para evadirlos, lo cual las puede colocar en situaciones de riesgo, a mentir respecto a lo que realmente hacen cuando están fuera de casa, a dónde van y con quien se encuentran.

El uso de metodología anticonceptiva sería una manera de que ellas tengan en sus manos la postergación o la prevención de un embarazo. Sin embargo, se encuentran en constante riesgo porque el uso, al menos del condón, se vuelve un hecho aleatorio. Se hallaron evidencias que muestran que posterior a la primera relación sexual, se diversifican los métodos anticonceptivos y se integran algunos hormonales que implican un conocimiento más a fondo de su funcionamiento y de su aplicación. Así mismo, al optar por estos últimos, se colocan en riesgo de una ITS por no haber una barrera de protección entre los genitales.

Otro hallazgo importante que comparten ambos estudios es que las relaciones sexuales sin protección son una constante entre las jóvenes y esto permite evidenciar que no en todos los casos hay una anticipación adecuada del evento. Así mismo, en este estudio hizo falta indagar sobre la posible negociación del uso de metodología anticonceptiva y las estrategias de las que se valen las jóvenes.

Los cuidados también se omiten cuando se trata de asistir a revisiones periódicas sobre su salud sexual y reproductiva. Este resultado se encuentra vinculado con el miedo, los mitos y a las creencias religiosas donde se otorga un valor importante al cuerpo de las

mujeres mientras conserve su pureza. El miedo a atender su salud sexual y reproductiva se justifica con lo innecesario que puede parecer mientras no se tenga ninguna complicación de salud aparente o un embarazo que atender. De tal manera que los índices sobre la práctica de estudios como el papanicolaou son muy bajas, aun cuando se recomienda su realización una vez iniciada la vida sexual.

Teniendo en cuenta a Fina Sanz (2012), en la tradición cristiana se establece la dicotomía dolor-placer, donde el dolor es valorizado y el placer penalizado. De esta manera, se sobrepone lo reproductivo sobre lo placentero, puesto que parir representa dolor, sacrificio, amor, sufrimiento; por su parte, el placer representa el goce, satisfacción, agrado. Tomando en cuenta que 3 de cada 4 de las participantes en este estudio son católicas, no es de extrañar que estas ideas permeen sobre su sexualidad.

Teniendo como punto de partida las definiciones de orgasmo de las mujeres de este estudio, se tiene evidencia de los conocimientos y la experiencia que manejan al respecto. Se puede demostrar que hay quienes no lo han sentido a través de las relaciones sexuales ni de la masturbación. En cuanto a las relaciones sexuales coitales, surgen varias interrogantes: ¿cómo son sus relaciones sexuales? ¿qué papel juegan las mujeres en estos encuentros? ¿habrán entablado alguna conversación con sus parejas para referir si alcanzaron el orgasmo? ¿el orgasmo es la meta final de sus encuentros?

Hay varias explicaciones posibles para estos resultados. Algunas pueden ser: a) las relaciones sexuales se centran en el placer de la pareja y no en el placer propio, b) no saben dónde estimularse para alcanzar el orgasmo, c) esperan alcanzar el orgasmo con la penetración, d) desconocen la ubicación del clítoris, e) poca o nula exploración de su cuerpo, c) no hay confianza con la pareja para referir a los puntos en los que sienten placer.

Además, el orgasmo femenino es un placer negado en dos sentidos: en cuanto a su existencia y como práctica de las mujeres. Si el orgasmo femenino es un tabú, lo es aún más la masturbación femenina. El hecho de que una mujer se toque a sí misma para generarse placer es desaprobado socialmente. La constante entre quienes no han tenido un orgasmo, es definitivamente la masturbación pues casi la totalidad de las mujeres que no lo han experimentado declaran que tampoco se han masturbado tampoco.

La afirmación de Sanz (2012) sobre el alejamiento de las mujeres de su erotismo, la podemos confirmar a través de los resultados obtenidos con las mujeres jóvenes que formaron parte de este estudio. Lo anterior se sustenta en que una manera de conocerse y apropiarse de su cuerpo es la observación, la exploración, el conocimiento y reconocimiento de las sensaciones, etcétera. La masturbación posibilita el autoconocimiento y esto de alguna manera puede encauzar sus prácticas sexuales a una experiencia más grata donde desempeñen un papel más protagónico o que al menos, retribuya en una práctica en condiciones en las que ellas mismas reconozcan lo que sienten.

A lo largo de estas líneas, pudimos conocer cuáles son las prácticas sexuales de las mujeres jóvenes de un colegio de bachilleres. Con ello, es posible advertir que es necesario reforzar la educación de la sexualidad y dirigirla hacia un enfoque integral que considere no solamente lo reproductivo, sino que refiera al placer, a la diversidad, a la libertad; aunado a ello es muy importante que, en este caso específico, las mujeres se apropien de su cuerpo y tengan las habilidades para tomar sus propias decisiones que velen hacia su desarrollo. Aun cuando la metodología anticonceptiva es una herramienta que pueden utilizar a su favor, la efectividad de los mismos puede verse reducida de manera considerable por el desconocimiento de su uso.

Los derechos sexuales y reproductivos son un mecanismo en beneficio del desarrollo de la sexualidad de las mujeres; además de ser un compromiso asumido por el estado ante instrumentos internacionales. Una realidad es que no todas las mujeres los conocen y, por lo tanto, no les es posible demandar su garantía.

Claro está que el ideal sería que las mujeres tuvieran todas las condiciones para desarrollar una sexualidad autónoma. Es evidente que lo anterior no se alcanza meramente aprendiendo las opciones anticonceptivas a la mano, ni usando el condón de manera correcta, ni colocando en su plan de vida que desean tener un hijo hasta que tengan determinada edad. En caso contrario, si se consideraran, estaríamos regresamos nuevamente a la visión biologicista y reproductiva de la sexualidad.

Estamos refiriendo al bagaje necesario para el ejercicio de su sexualidad perfilada hacia la exploración, el placer, el erotismo. Las instituciones huyen de esta preparación por la polémica que causa entre padres, madres de familia y tutores. Si bien cada persona tiene su propio criterio, lo que no se puede dejar pasar es recalcar nuevamente sobre la importancia de una educación integral de la sexualidad.

Por su parte, las juventudes se han encargado de que, dentro de las transformaciones sociales, la sexualidad también se cambie y se encuentre en constante movimiento. Cada sociedad le construye su propia identidad de acuerdo con sus circunstancias y a su tiempo. Esta advertencia va en el sentido de que, lo que hoy estamos enunciando como las prácticas sexuales de las y los jóvenes, puede irse diversificando con el paso del tiempo.

Referencias

- Amuchástegui, A. (2000). *Virginidad e iniciación sexual en México. Experiencias y significados*. Edamex; Population Council.
- Arango de M., I. (2008). *Sexualidad humana* en Aldana G. A. Psicología y sociología del erotismo. Manual Moderno.
- Asociación Mexicana para la Salud Sexual A. C. (AMSSAC) (2021). *Definiciones básicas*. Consultado el 13 de mayo del 2021. <https://www.amssac.org/biblioteca/definiciones-basicas/>
- Foucault, M. (1998). *Historia de la sexualidad 1: la voluntad del saber*. Siglo XXI Editores.
- Herrera, J., y Cairo, L. A. (2009). Apropiación de derechos sexuales y reproductivos en la adolescencia: dimensiones de la ciudadanía. *La ventana. Revista de estudios de género*, 4(30), 148-180.
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2014). *Análisis sobre educación sexual integral, conocimientos y actitudes en sexualidad en adolescentes escolarizados. Informe final*. http://www.censida.salud.gob.mx/descargas/transparencia/estudios_opiniones/InformeFinal_INSP.pdf
- Sanz, F. (2012). *Psicoerotismo Femenino y masculino. Para unas relaciones placenteras, autónomas y justas*. Kairos.

Propuesta de una aplicación móvil de salud mental para adolescentes

Yadira Pérez Márquez, Luis Maobert Casillas Avila, Pamela Garbus, Angélica Juárez Loya, Catalina González-Forteza

Maestría en Salud Mental de la Infancia y la Adolescencia, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro; yperez10@alumnos.uaq.mx (Y.P.M.); lcasillas28@alumnos.uaq.mx (L.M.C.A.); pamela.garbus@uaq.mx (P.G.)

Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México; ajuarezloya@comunidad.unam.mx (A.J.L.)

Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, Secretaría de Salud, México; catiartes@gmail.com (C.G.-F.)

Resumen

La conducta suicida y el consumo de drogas constituyen dos de los problemas de salud pública que más afectan a los adolescentes. El suicidio es la segunda causa de muerte en población entre 15 y 29 años y, en esta misma, el consumo de drogas ha aumentado en los últimos años en México. Se sabe que las aplicaciones móviles en salud mental han tenido un impacto positivo para prevenir y psicoeducar a la población, por lo que el propósito de este trabajo será conceptualizar una estrategia de intervención por medio de una aplicación móvil psicoeducativa para adolescentes entre 12 y 18 años del estado de Querétaro, México. Con lo anterior, se busca prevenir la conducta suicida y el consumo de drogas. Se concluye que el desarrollo de una aplicación móvil facilitará un espacio de confidencialidad y consulta consecutiva de inquietudes acerca del tema de las drogas y el suicidio para los adolescentes. Además, puede ser una alternativa para llegar a más usuarios, por lo que puede beneficiar al acceso a atención en salud mental en poblaciones donde no hay cobertura por la falta de recursos humanos y financieros que limitan no solo la atención sino sobre todo la promoción y prevención.

Palabras clave: aplicaciones móviles, salud mental, adolescentes, conducta suicida, consumo de sustancias.

Abstract

Suicidal behavior and drug use are two of the public health problems that most affect adolescents. Suicide is the second leading cause of death in the population between 15 and 29 years of age, and drug use has increased in recent years in Mexico. It is known that mobile applications in mental health have had a positive impact to prevent and psychoeducate the population, so the purpose of this work will be to conceptualize an intervention strategy through a psychoeducational mobile application for adolescents between 12 and 18 years of age in the state of Queretaro, Mexico. The aim is to prevent suicidal behavior and drug use. It is concluded that the development of a mobile application will facilitate a space for confidentiality and consecutive consultation of concerns about the topic of drugs and suicide for adolescents. In addition, it can be an alternative to reach more users, so it can benefit access to mental health care in populations where there is no coverage due to lack of human and financial resources that limit not only care but especially promotion and prevention.

Key words: mobile applications, mental health, adolescents, suicidal behavior, substance use.

Introducción

Las problemáticas de salud mental han aumentado drásticamente en las últimas décadas tanto en el contexto internacional como en México. Al comienzo del nuevo milenio, en México, se ha reportado un incremento en la prevalencia de trastornos psiquiátricos infantiles. Los adolescentes son una población especialmente vulnerable al desarrollo de problemas de salud mental. El impacto de los cambios físicos, psicológicos y sociales de esta etapa puede afectar de diferentes formas su estado de bienestar o el desarrollo de habilidades que después serán parte de los recursos útiles de la vida adulta; además, hay una mayor exposición a factores de riesgo en esta etapa que pueden afectar su salud mental.

La problemática suicida es un aspecto especialmente alarmante de la salud mental de esta población; pues para 2020, en México, se contabilizaron 7,896 suicidios. Entre sus principales causas se encontró lesión por ahorcamiento, estrangulamiento o sofocación con 6,663 casos (84.4 %), seguidas de las causadas por armas de fuego con 531 casos (6.7 %). Del grupo de edad de 10 a 14 años, hubo 122 suicidios en mujeres y 156 en hombres; mientras que del grupo de 15 a 24, se presentaron 516 suicidios en mujeres y 1,505 en hombres. Este último grupo de edad es el segundo que concentró la mayor proporción de suicidios con 25.6 % (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021).

La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012 (ENSANUT) refiere que la prevalencia de intento de suicidio en adolescentes del estado de Querétaro fue de 2 % y en el grupo de 13 a 15 fue del 3 %. Además, si en esta etapa los adolescentes viven con su pareja, aumenta (8.6 %); también es mayor en quienes consumieron alcohol (3.4 %) y en los que sufrieron algún tipo de violencia en los últimos 12 meses (11 %) (Instituto Nacional de Salud Pública [INSP], 2013). En San Juan del Río, Querétaro se ha referido una alta prevalencia de ideación suicida reciente (10.7 %), ideación suicida actual (4.6 %) y conducta suicida (20 %) en estudiantes de escuelas secundarias

públicas. Estos datos manifiestan una relación significativa predictora con los factores de riesgo depresión, impulsividad, locus de control interno, consumo de alcohol, marihuana, inhalables y problemas económicos (Garbus, 2020; González, 2019). Otra de las problemáticas más prevalentes en este grupo es el consumo de drogas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019); Secretaría de Salud [SSA], 2019), el cual compromete el desarrollo orgánico, psicológico y social. Por ello, se requieren estrategias de prevención y atención para este tema.

La Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017 (ENCODAT) reportó un aumento significativo en el consumo de drogas, al menos una vez en la vida entre el 2011 y el 2017, del 7.8 % al 10.3 % respectivamente. Para los adolescentes de entre 12 y 17 años, la ENCODAT señaló una prevalencia de consumo de drogas, al menos una vez en la vida, del 6.6 %. Esto equivaldría aproximadamente a tres millones de jóvenes (Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz [INPRFM] et al., 2017). En Querétaro, un estudio epidemiológico del 2019 tomó datos, en una muestra probabilística de 992 adolescentes de entre 11 y 16 años de escuelas secundarias públicas del municipio de Cadereyta, y encontró que el 63.3 % de los encuestados refieren haber consumido al menos una droga una vez en la vida (Banda, 2019) y 30.2 % más de una droga al menos una vez en la vida (Garbus, 2020).

El aumento en el consumo de drogas en los últimos años puede estar relacionado con factores como la violencia, la criminalidad o la práctica de actividades de riesgo. Pese a la gravedad de estas problemáticas y que los organismos internacionales instan a los países a actuar para mejorar las condiciones de salud mental de la población, en México, existe una escasa oferta de servicios que promueva la prevención del consumo de estas estancias y de la promoción de la salud mental en general. La falta se hace aún más evidente cuando se evalúan los servicios de salud mental especializados para población infantojuvenil.

Además, los adolescentes no perciben los recursos de salud como accesibles para ellos, ya sea por las características del sistema o por las construcciones culturales propias de este grupo (Garbus et al., 2017). Por lo anterior, es preciso pensar acciones que pongan a los adolescentes como población foco y busquen aportar a la mejora de las condiciones de salud mental desde una perspectiva de prevención y promoción de la misma.

El creciente uso de las tecnologías de la información y la comunicación (como los aparatos móviles y la necesidad de desarrollar e implementar nuevas estrategias y acciones) obliga a considerar el uso de los dispositivos electrónicos y herramientas de uso cotidiano con fines preventivos. Hernández (2020) afirma la necesidad de ampliar las actividades tendientes al cuidado de la salud y la prevención en el ámbito digital, pues el uso de estas herramientas puede acortar las distancias y ser un vínculo más directo de acceso a estos servicios. De esta forma, este trabajo construirá una estrategia de intervención enfocada a la prevención por medio de una aplicación móvil bajo la técnica psicoeducativa dirigida a adolescentes de entre 12 y 18 años del estado de Querétaro, para la prevención de la conducta suicida y del consumo de drogas, así como acortar la brecha de acceso a los servicios sanitarios.

Método

Tipo de estudio. Estudio documental para fundamentar el contenido psicoeducativo de la aplicación.

Población objetivo. Adolescentes de 12 a 18 años residentes del Estado de Querétaro, México.

Resultados

Para desarrollar los contenidos de la aplicación móvil psicoeducativa, se requiere de una revisión documental sobre salud mental, adolescencia, conducta suicida en adolescentes, consumo de drogas, procesos psicoeducativos eficientes para esta población, salud en general y aplicaciones móviles. Hasta el momento, se han revisado 141 textos científicos (artículos, libros, informes de

investigación, informes nacionales e internacionales y páginas de instituciones oficiales en internet). Cabe resaltar que no todos se muestran en este trabajo; solo se presenta una reseña breve de los hallazgos recopilados para el desarrollo de la aplicación móvil psicoeducativa para adolescentes que aborde la problemática suicida y de consumo de drogas.

La problemática suicida en adolescentes

La problemática suicida es compleja y multifactorial pues está relacionada con factores biológicos, psicológicos, socioeconómicos o culturales. El suicidio no constituye un hecho aislado, se considera un continuo que parte desde la mera ocurrencia hasta la consecución del suicidio, pasando por la ideación, la planificación y el intento suicida (Salvo & Melipillán, 2008). La ideación es uno de los factores de riesgo más importantes para el suicidio. A pesar de que ocurre con más frecuencia en personas mayores que en personas jóvenes, sigue siendo una de las principales causas de muerte en la adolescencia en todo el mundo. En 2016, fue la segunda causa de muerte en personas de 15 a 29 años a nivel mundial (OMS, 2019).

En México, al igual que en el suicidio consumado, se ha observado un aumento de la conducta suicida principalmente en adolescentes. Entre 2018 y 2019, casi 4 % de los adolescentes (895,464 adolescentes) reportaron haberse hecho daño con el fin de quitarse la vida (Shamah Levy et al., 2020) y se sabe que esta conducta continúa en aumento pues en 2012 solo 2.7 % reportaron esta acción (INSP et al., 2013).

Entre 1970 y 2016, la tasa de mortalidad por suicidios en jóvenes, casi se quintuplicó, pasando de 1.13, en 1970, a 5.2 en 2016, pues se presentaron 4.4 suicidios masculinos por cada femenino. Para la población de 15 a 29 años, es la tercera causa de muerte en ambos sexos, después de los homicidios y accidentes de vehículo automotor; por lo que el suicidio constituye una de las principales causas de años de vida perdidos por muerte prematura (Dávila & Luna, 2019).

Se ha descrito factores asociados al desarrollo de conducta suicida en adolescentes como ser mujer, psicopatologías como depresión, ansiedad y trastorno bipolar; antecedentes de otras enfermedades mentales, abuso sexual, disfunción familiar, baja autoestima, bullying y estrés escolar (Domínguez et al., 2019). El suicidio impacta en todos los ámbitos del adolescente y a nivel social, por lo que la prevención de este fenómeno comienza a partir de la promoción de la salud mental.

Consumo de drogas en adolescentes

El consumo de drogas en adolescentes es un problema que requiere del desarrollo de nuevas estrategias para su abordaje, puesto que los programas de atención y prevención del consumo no han tenido el resultado esperado. En México, en los últimos años se han generado diversas iniciativas gubernamentales para atender el consumo de sustancias adictivas. La Comisión Nacional Contra las Adicciones (CONADIC) ofrece servicios de atención primaria en adicciones desde las unidades médicas de especialidad CAPA, así como servicios de atención en los centros de integración juvenil (CIJ) con 104 unidades de consulta externa y 11 unidades de hospitalización que se pueden entender como servicios de atención primaria (SSA, 2019). En casos más graves, se ofertan servicios de internamiento a través de clínicas de iniciativa privada. Hasta el 2018, se contaba con 2108 clínicas en todo el país.

Desde el 2019, se inició con el programa “Juntos por la Paz”, iniciativa del gobierno federal como parte de la estrategia nacional contra las adicciones, con campañas de intervención comunitaria dirigidas especialmente a los jóvenes. Además, la CONADIC ha generado desde 2018 una línea telefónica y una plataforma interactiva digital por medio de redes sociales como Facebook llamada “La línea de la Vida”, donde cualquier persona puede escribir un mensaje y un *chatbot* registra y da seguimiento al usuario para canalizarlo a las distintas instituciones de atención. De esta manera, el panorama nacional dibuja toda una estructura de atención a la prevención y la asistencia contra el consumo de drogas desde

poblaciones adolescentes y población en general. Sin embargo, las estadísticas de aumento en el consumo muestran que dichas medidas no están respondiendo de manera eficaz a la prevención del consumo de drogas en población adolescente, ya que por su centralidad, no pueden cubrir el acceso a toda la población (OMS, 2019; SSA 2019).

En Querétaro, los servicios públicos de atención y prevención del consumo de sustancias son administrados por el Consejo Estatal Contra las Adicciones (CECA) y por la Secretaría de Salud del estado. Pese a estas acciones, los alcances de los anteriores programas no han generado la cobertura requerida para que toda la población del estado acceda a estos servicios y, en específico, los adolescentes. La brecha de accesibilidad sigue siendo un problema por resolver, ya que la mayoría de estos programas se encuentra focalizada en centros o instituciones localizadas en los principales asentamientos del estado. Lo anterior repercute directamente en la posibilidad de acceso de poblaciones alejadas de estos puntos, así como para las poblaciones de jóvenes dentro de los sectores con acceso a los servicios de atención y prevención al consumo de sustancias y a los servicios de salud en general. Esto se debe a que los procesos de atención pueden llegar a ser indirectos o con poca sensibilidad para detectar situaciones de riesgo e intervenir con estrategias de prevención.

Las restricciones generadas por la pandemia actual dificultan más este panorama; con ello, resulta más necesario implementar medidas de intervención que incluyan el uso de herramientas virtuales, como en algunos países que han demostrado eficacia en el tratamiento de distintos problemas vinculados a la salud mental (Ali et al., 2015). Las principales técnicas empleadas para realizar programas de prevención de abuso de sustancias son las técnicas psicoeducativas, los grupos con monitores pares y programas culturales.

Aplicaciones móviles en salud mental

En la última década, sobre todo en países desarrollados, ha crecido el número de programas

enfocados a la salud a través del uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (Ali et al., 2015). Por otro lado, ha incrementado el interés clínico y de investigación en las aplicaciones móviles (*apps*) para la salud física y mental, por lo que ha aumentado la demanda por parte de los usuarios (Huckvale et al., 2020).

De hecho, las intervenciones digitales son cada vez más promovidas como una forma de ayudar a las personas en riesgo de suicidio o consumo de drogas que no buscan ayuda profesional cara a cara, sino a través de programas en línea y tiendas de *apps*. Las intervenciones digitales tienen el potencial de aumentar la búsqueda de ayuda y brindar acceso más temprano a la atención, para reducir la frecuencia e intensidad de problemas de salud mental (Torok et al., 2020). En México, existen algunas experiencias en el uso de *apps* para atender problemas de salud mental; por ejemplo, HelPath está desarrollada para brindar acompañamiento a pacientes con tendencia suicida, no obstante, solo se puede hacer uso de ella bajo prescripción médica y únicamente está disponible en seis unidades médicas del estado de Nayarit. La *app* digital ¿Qué pasa si te pasas? desarrollada por investigadores del INPRFM está diseñada con el objetivo de brindar información de manera didáctica sobre las drogas y la prevención de problemas relacionados con estas. Es una aplicación que está dirigida a la población en general.

Psicoeducación en salud mental

Las técnicas psicoeducativas son estrategias educativas que se han implementado como herramientas complementarias para la prevención en salud mental. Cuando se educa, se desarrollan en los individuos conductas sanas para evitar daños a la salud, propia y de la comunidad. Así, la psicoeducación puede abarcar medidas para evitar la aparición de enfermedad, la prevención primaria, secundaria y terciaria que limita los daños y rehabilita las capacidades y funciones comprometidas por dichos daños (López & Hernández, 2011).

En la medida que los pacientes y sus familiares sean capaces de reconocer las características de las

enfermedades y su sintomatología, podrán recurrir de manera temprana a centros de atención. Así, la psicoeducación permite a las personas identificar las señales de alarma, realizar un contacto eficaz con el equipo tratante, solicitar un mejor reporte de lo observado y evitar que cuadros incipientes se agraven optimizando los tiempos de intervención (Godoy et al., 2020). Por lo tanto, es de suma importancia la utilización de estas técnicas y, si estas pueden ser instaladas en una *app*, se tendrá el potencial de abarcar una mayor cantidad de personas, especialmente si se trata de adolescentes, puesto que este grupo se encuentra muy familiarizado con las *apps* y su uso.

Conclusiones

Las alarmantes cifras en materia de salud mental adolescente, la falta de servicios de atención disponibles y de acciones de prevención y promoción de la salud en México fueron motivo para pensar en el desarrollo de *apps* para favorecer la salud mental adolescente del Estado de Querétaro. Se considera que son nuevas formas de acercarse a la población adolescente, puesto que utilizan las TIC de manera frecuente, invirtiendo una buena cantidad de tiempo en el uso de *smartphones*, redes sociales y *apps* de diversa índole. Reconociendo que la utilización de TIC puede contribuir a prevenir problemas de salud, se consideró que el desarrollo de una aplicación móvil facilitará un espacio de confidencialidad, consulta consecutiva de inquietudes acerca del tema de drogas y suicidio, así como recomendaciones que podrán favorecer el estado emocional de los adolescentes.

Las *apps* de salud pueden ser una alternativa para llegar a más usuarios, por lo que puede beneficiar al acceso a atención en salud mental en poblaciones donde no hay cobertura por la falta de recursos humanos y financieros que limitan no solo la atención sino sobre todo la promoción y prevención. La naturaleza casi omnipresente de las *apps* las convierte en fuentes de salud mental rentables y pueden resultar valiosas para adolescentes que viven en comunidades remotas, donde se manifiestan

desventajas estructurales que impactan negativamente su salud (Kenny et al., 2016).

En el estado de Querétaro, no existe una aplicación móvil con un objetivo psicoeducativo que pueda orientar a los adolescentes en las problemáticas aquí abordadas: conducta suicida y consumo de drogas. Por ello, se pretende desarrollar esta herramienta que muestre contenido psicoeducativo con fines preventivos y favorezca el acceso a los servicios de salud mental.

Referencias

- Ali, K., Farrer, L., & Gulliver, A. (2015). Online Peer-to-Peer Support for Young People With Mental Health Problems: A Systematic Review. *JMIR Mental Health*, 2(2), 1-9. <https://doi.org/10.2196/mental.4418>
- Banda A. B. V. (2019). *Prevalencia del consumo de alcohol, tabaco y drogas en adolescentes y su relación con factores psicológicos y psicosociales*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Dávila, C., & Luna, M. (2019). Intento de suicidio en adolescentes: factores asociados. *Revista Chilena de Pediatría*, 90(6), 606-616. <http://dx.doi.org/10.32641/rchped.v90i6.1012>
- Domínguez, O. E., Meza, M. M., & Cañón, S. (2019). Determinación de los factores de riesgo asociados a la conducta suicida en adolescentes. *Collection of Articles on Medicine*, 1-12. https://www.scipedia.com/public/Ortiz_et_al_2019a#
- Garbus, P. (2020). *Prevalencia del consumo de alcohol, tabaco y drogas en adolescentes y su relación con factores psicológicos y psicosociales*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Garbus, P., Morales, O. A., & Cabello, Á. L. S. (2017). Accesibilidad a la atención en salud de adolescentes en San Juan del Río, Querétaro (México). *Enseñanza e Investigación en Psicología*, 22(3), 277-285. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29255775002>
- Godoy, D., Eberhard, A., Abarca, F., Acuña, B., & Muñoz, R. (2020). Psicoeducación en salud mental: una herramienta para pacientes y familiares. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 31(2), 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2020.01.005>
- González, K. S. (2019). *Prevalencia de ideación y conducta suicida adolescente y su relación con factores psicológicos y psicosociales*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Hernández, R. J. (2020). Impacto de la COVID-19 sobre la salud mental de las personas. *Revista Científica Villa Clara*, 578 – 594. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432020000300578
- Huckvale, K., Nicholas, J., Torous, J., & Larsen, M. (2020). Smartphone apps for the treatment of mental health conditions: status and considerations. *ScienceDirect*, 36, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2020.04.008>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021, 29 de Julio). *Características de las defunciones registradas en México durante 2020, preliminar* [Comunicado de prensa núm. 402/21]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EstSociodem/DefuncionesRegistradas2020_Pr_e_07.pdf
- Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz [INPRFM], Instituto Nacional de Salud Pública, Comisión Nacional Contra las Adicciones, Secretaría de Salud. (2017). *Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017: Reporte de Drogas*. Ciudad de México, México: INPRFM. https://drive.google.com/file/d/1zIPBiYB3625GBGIW5BX0TT_YQN73eWhR/view
- Instituto Nacional de Salud Pública [INSP]. (2013). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados por entidad federativa*. Querétaro. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/doctos/informes/Queretaro-OCT.pdf>
- Kenny, R., Dooley, B., & Fitzgerald, A. (2016). Developing mental health mobile apps: Exploring adolescents' perspectives. *Health Informatics Journal*, 22(2), 265-275. <https://doi.org/10.1177/1460458214555041>
- López, V. O., & Hernández, M. (2011). Efectividad de la psicoeducación en la calidad de vida en pacientes con enfermedad mental. Estudio piloto. *Rev Neurol Neurocir Psiquiat.*, 44(3), 94-100.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (28 de Noviembre de 2019). *Trastornos mentales*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>
- Secretaría de Salud. [SSA] (2019). Informe sobre la Situación del Consumo de Drogas en México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477564/Informe_sobre_la_situacion_de_las_drogas_en_Mexico.pdf
- Salvo, L., & Melipillán, R. (2008). Predictores de suicidalidad en adolescentes. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*. 46(2), 115-123 <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92272008000200005>
- Shamah Levy, T., Vielma Orozco, E., Heredia Hernández, O., Romero Martínez, M., Mojica Cuevas, J., Cuevas Nasu, L., Santaella Castell, J. A., & Rivera Dommarco, J. (2020). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19. Resultados nacionales*. INSP. <https://www.insp.mx/produccion-editorial/novedades-editoriales/ensanut-2018-nacionales>

Torok, M., Han, J., Baker, S., Werner Seidler, A., Wong, I., Larsen, M., & Christensen, H. (2020). Suicide prevention using self-guided digital interventions: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Lancet Digital Health*, 2, 25-36. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(19\)30199-2](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(19)30199-2)

Bacterias deterioradoras y su control con bacteriófagos

Alexia Joana López Gachuzo, Sofía Ma. Arvizu Medrano, Mauricio A. Redondo Solano, Dalia E. Miranda Castilleja, Silvia L. Amaya Llano. Universidad Autónoma de Querétaro.
Contacto: alexia-joana@outlook.com

Resumen

El deterioro de alimentos involucra cambios físicos y químicos indeseables de los productos, que hace que sean inaceptables para el consumidor. Las bacterias ácido lácticas (BAL) y ácido acéticas (BAAC) actúan como deterioradoras en bebidas fermentadas, por lo que producen biopelículas y elevan la viscosidad de dichos productos; además pueden tener actividad durante la fermentación, maduración y almacenamiento de las bebidas alcohólicas como vino, sidra y cerveza. Una estrategia de control para la actividad de estas bacterias puede ser los bacteriófagos, que son virus específicos que infectan solamente bacterias. Estos virus se han probado en alimentos cárnicos y lácteos, sin embargo su aplicación podía ampliarse a otras matrices alimentarias. El objetivo fue aislar e identificar BAL y BAAC deterioradoras de bebidas fermentadas para evaluar su susceptibilidad a bacteriófagos; para ello se aislaron estos microorganismos de aguas residuales, superficies y productos de cervecerías artesanales. Se probaron cepas de BAL y BAAC con bacteriófagos aislados. Seis cepas de BAL mostraron susceptibilidad a una concentración de bacteriófagos de 1×10^4 UFP/ml, ya que redujeron la población de BAL en células suspendidas 3-4 Log UFC/ml. El bacteriófago "N" tuvo efecto en tres cepas diferentes de BAL. Mediante la prueba de puntos, 3 cepas de BAAC fueron susceptibles a 3 fagos distintos. En este estudio se demostró que algunas cepas de BAL en suspensión y de BAAC son susceptibles a bacteriófagos y, que algunos bacteriófagos, ejercen efecto antimicrobiano sobre más de un tipo específico de bacterias. Algunos bacteriófagos muestran potencial para aplicarse en bebidas fermentadas para prevenir su deterioro.

Palabras clave

Bebidas fermentadas, bacterias ácido lácticas, bacterias ácido acéticas, bacteriófagos, deterioro de cerveza.

Abstract

Food spoilage involves undesirable physical and chemical changes to products, which make them unacceptable to the consumer. Lactic acid (LAB) and acetic acid (AAB) bacteria act as spoilage in fermented beverages, producing biofilms and raising the viscosity of these products; they can also be active during the fermentation, maturation and storage of alcoholic beverages such as wine, cider and beer.

A control strategy for the activity of these bacteria could be bacteriophages, which are specific viruses that infect only bacteria. These viruses have been tested in meat and dairy foods, however, their application could be extended to other food matrices.

The objective of this work was to isolate and to identify spoiler LAB and AAB of fermented beverages to evaluate their susceptibility to bacteriophages; For this, these microorganisms were isolated from wastewater, surfaces and craft brewery products. LAB and AAB strains were challenged with the isolated bacteriophages. Six strains of LAB showed susceptibility to a bacteriophage concentration of 1×10^4 PFU / ml, showing 3-4 Log CFU / ml reduced LAB. Bacteriophage "N" showed effect on three different strains of LAB. Through point test, 3 AAB strains were susceptible to 3 different phages.

In this study, it was shown that some strains of LAB and AAB are susceptible to bacteriophages, and that some bacteriophages exert antimicrobial effect on more than one specific type of bacteria. Some bacteriophages show potential to be applied in fermented beverages to prevent spoilage.

Keywords

Fermented beverages, lactic acid bacteria, acetic acid bacteria, bacteriophages, beer spoilage.

Introducción

El incremento global de la población tiene como resultado un aumento en la demanda de alimentos. Estos últimos tienen la probabilidad de desperdiciarse, en mayor o menor medida, en todo el mundo y en todas las etapas de la cadena alimentaria. Las pérdidas de alimentos afectan negativamente la seguridad alimentaria y la nutrición de las poblaciones (Petruzzi y col., 2017).

El deterioro de alimentos se puede generar por actividad de ácaros o insectos, actividad enzimática o reacciones químicas propias del alimento y, la más frecuente, es la actividad microbiana misma que involucra varios mecanismos que afectan las características sensoriales de los alimentos. Lo anterior es resultado de cambios en la textura, el sabor, el aroma e incluso el color y, por ello, los consumidores el alimento (Li y col., 2020). Además de la presencia de microorganismos deterioradores, el pH, la temperatura, la disponibilidad de agua y nutrientes, así como el uso de conservadores son elementos clave durante el almacenamiento (Gill, 2017).

Las bacterias ácido lácticas (BAL) juegan un papel importante en el deterioro de diversos alimentos, entre ellos las bebidas fermentadas. Este grupo de bacterias producen principalmente ácido láctico a partir de la degradación de azúcares; suelen ser tolerantes a niveles bajos de pH, producen polímeros y son capaces de generar biopelículas. Estas características favorecen su persistencia en ambientes de producción de alimentos en donde otras bacterias suelen inhibirse (Ferrero y col., 2021).

Las BAAC son bacterias Gram negativas catalasa positiva y oxidasa negativa. Son bacterias aerobias obligadas que pertenecen a la familia *Acetobacteraceae* y tienen un pH óptimo de desarrollo entre 5.0-6.5, pero existen reportes que pueden crecer a valores más bajos (La China, 2018). Estas bacterias son utilizadas para llevar a cabo reacciones específicas de oxidación a través de fermentaciones oxidativas, especialmente en la

producción de vinagre y también pueden deteriorar bebidas fermentadas como el vino, la sidra y la cerveza donde la producción de ácido acético es indeseable (La China, 2018). Este fenómeno puede ocurrir si las BAAC no se eliminan durante la filtración o antes del embotellado y su actividad puede impartirles un aspecto turbio a las bebidas (Gomes y col., 2018).

Las estrategias de control que actualmente se utilizan contra el deterioro de los alimentos se basan en minimizar el ingreso de los microorganismos deterioradores mediante procesos de limpieza y desinfección de superficies y el control de la calidad microbiológica; así como el uso de conservadores, empaques y atmósferas que inhiban el desarrollo microbiano. Sin embargo, no se ha descrito alguna estrategia específica para el control de BAL y BAAC.

Por otro lado, los bacteriófagos son los virus más abundantes en todo el planeta y están presentes en todos los ecosistemas. Se definen como parásitos intracelulares obligados que infectan exclusivamente a células procariotas (Sharma et al., 2017). Estos virus se han convertido en agentes importantes para el control de las bacterias, principalmente en tratamientos clínicos debido a que cada vez es mayor la resistencia de las bacterias a los antibióticos, por lo que se han vuelto una opción eficiente en este ámbito (Kortright et al., 2019). La aplicación de los bacteriófagos no solamente se limita al área médica, también se han aplicado en la agricultura para proteger cultivos y en alimentos procesados como bioprotectores, en donde se busca eliminar bacterias patógenas como *Escherichia coli* patógena, *Salmonella* y *Listeria* (Huang y col., 2018).

Por esta razón el objetivo de este estudio es aislar e identificar BAL y BAAC deterioradoras de cerveza y evaluar su susceptibilidad a bacteriófagos aislados del mismo ambiente de producción.

Metodología

Para el aislamiento de los microorganismos, se realizaron 6 muestreos de superficies y productos en cervcerías artesanales y bodegas de vino. Se utilizaron hisopos y esponjas estériles sumergidos en 2 y 20 ml de caldo neutralizante. Se inocularon diluciones seleccionadas de cada muestra por extensión en superficie en agar MRS y agar GYC para el aislamiento de BAL y BAAC, respectivamente. Las placas se incubaron a 30 °C/24 h para BAL y a 25 °C/48 h para BAAC. La confirmación de las BAL y BAAC se realizó mediante pruebas bioquímicas (catalasa y oxidasa) y morfológicas (tinción Gram). Para el caso de las BAL, se aplicó una prueba de PCR múltiple como tamiz de identificación.

Para la recuperación de bacteriófagos, alícuotas de las muestras obtenidas se centrifugaron a 10,000 rpm / 5 min. El sobrenadante se filtró con una membrana de acetato de celulosa (0.45µm) y esto se enriqueció en 1 ml de cultivo activado de cepas de BAL y BAAC y se incubaron a 30 °C/24 h y a 25 °C/48 h respectivamente. Nuevamente, se centrifugó y se filtró la solución y los bacteriófagos se cuantificaron mediante la técnica de agar doble capa en el medio específico para cada tipo de bacteria.

Se evaluó la capacidad de deterioro de las cepas aisladas inoculando 40 µl de cada una de ellas en 10 ml de cerveza artesanal tipo pilsner y se incubaron a 30 °C/24 h para BAL y a 25 °C/48 h para BAAC. Se midió cada 12 horas la densidad óptica (DO) de las soluciones durante 72 h.

La evaluación del efecto de los bacteriófagos en células en suspensión se realizó inoculando 10⁸ UFC / ml de cepas individuales de BAL con 10⁴ UFP / ml de la suspensión de bacteriófagos y se incubaron a 30 °C/24 h. Posteriormente, se centrifugó la suspensión a 10,000 rpm / 5 min y el paquete celular se resuspendió en solución salina isotónica para la cuantificación de las células sobrevivientes de BAL en agar MRS.

La susceptibilidad de las BAAC a los bacteriófagos se realizó mediante la prueba de puntos, en la cual se probaron todos los bacteriófagos en un ensayo. Para ello, se adicionaron 500 µl de cada una de las cepas de BAAC en 3 ml de agar semisólido, el cual se vertió sobre una placa de agar GYC sólido. Una vez seco este agar, se colocó una gota de 10 µl de cada uno de los bacteriófagos para evaluar si eran eficientes con cada una de las cepas.

Resultados

En los seis muestreos que se realizaron, se obtuvieron un total de 9 bacteriófagos y 82 cepas bacterianas; de las cuales, 13 se confirmaron como BAL y mediante PCR, 2 de ellas se identificaron como *Leuconostoc mesenteroides* (C-5) y *Lactobacillus plantarum* (C-10) y 3 cepas como BAAC.

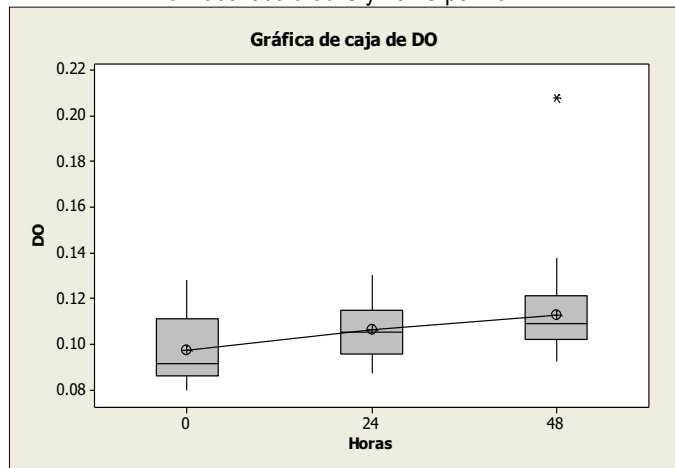
Tabla 1. Cepas bacterianas utilizadas en el estudio.

Tipo de bacteria	Origen	Sitio de muestreo	Código
BAL	Bodega vinícola	Coladera	C-1
BAL	Bodega vinícola	Tanque	C-2
BAL	Bodega vinícola	Tótem	C-3
BAL	Bodega vinícola	Tótem	C-4
BAL	Bodega vinícola	Caja	C-5
BAL	Cervecería	Coladera	C-6
BAL	Cervecería	Coladera	C-7
BAL	Cervecería	Enlatadora	C-8
BAL	Cervecería	Enlatadora	C-9
BAL	Cervecería	Tanque	C-10
BAL	Cervecería	Piso	C-11
BAL	Cervecería	Tanque	C-21
BAL	Cervecería	Mosto	C-25
BAAC	Cervecería	Válvula	C-13
BAAC	Cervecería	Manguera	C-16
BAAC	Cervecería	Mesa	C-19

Fuente: Elaboración propia.

Las cepas de BAL y de BAAC mostraron capacidad para desarrollar en cerveza artesanal (Figura 1). Se observó un incremento en la densidad óptica (DO) de la cerveza inoculada con las cepas de manera individual y almacenada por 48 h ($p < 0.05$).

Figura 1. Desarrollo de 13 cepas de BAL y 9 de BAAC en cerveza almacenada a 30°C y 25 °C por 48 h.



Fuente: Elaboración propia.

Además, la comparación de Dunnett con la cerveza sin inocular mostró que la media de la DO alcanzada a las 48 h es significativamente diferente que la media del control, el cual consistió en cerveza almacenada a las mismas condiciones, pero sin inocular. Se retaron 9 bacteriófagos aislados con 13 cepas de BAL en suspensión y seis de ellas mostraron susceptibilidad a cuatro de los bacteriófagos (Figura 2). Como resultado, el bacteriófago “N” fue el más eficiente ya que mostró efecto contra tres cepas diferentes de BAL (Tabla 1).

Figura 2. Inhibición bacteriana mediante bacteriófagos y la prueba de agar doble capa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Actividad de los bacteriófagos sobre BAAC y BAL.

Bacteriófago	Cepas susceptibles
K	C-19, C-3
M	C-5
N	C-2, C-7, C-9
O	C-10
P	C-13
S	C-16

Fuente: Elaboración propia.

A través de la prueba de puntos se obtuvieron tres cepas de BAAC susceptibles a los fagos “O”, “P” y “S”.

Discusión y conclusiones

Recientemente, la producción de cerveza no pasteurizada ha aumentado debido a la preferencia de los consumidores por el sabor fresco; pero al excluir la pasteurización, el producto final es más susceptible al deterioro por microorganismos. El uso de bacteriófagos como conservadores es una manera de controlar el problema al que se enfrentan principalmente las cervecerías artesanales.

En México, es muy importante la producción de cerveza artesanal: en el 2013, se abrieron más de 276 cervecerías artesanales (Cerveceros de México, 2020). En particular, Querétaro es un estado reconocido por su producción de cerveza artesanal, donde se cuenta con empresas importantes que figuran tanto en el mercado nacional como internacional de acuerdo con los datos estadísticos que presentó el INEGI en el 2020.

Durante la elaboración de cerveza artesanal, es muy común encontrar BAL en equipos y productos debido a su capacidad de formación de biopelículas y su tolerancia a bajos niveles de pH (Rodríguez Saavedra et al., 2020). Las BAL también se han encontrado en el producto terminado, ya que este tipo de cervezas no se pasteurizan, lo cual favorece la supervivencia y desarrollo de BAL (Rodríguez Saavedra et al., 2020). *Lactobacillus brevis*, *L. paracasei*, *L. backii* y *Pediococcus damnosus* son las especies que se han visto mayormente implicadas en casos de deterioro de cerveza (Schneiderbanger et al., 2018).

Las BAL son microorganismos que se encuentran en diversos ambientes de producción de alimentos. Reportaron la persistencia de cepas deterioradoras de *Leuconostoc* en una empresa productora de salchichas por dos años (Padilla et al., como se citó en Ripolles Ávila, 2019). Así mismo, se ha observado el deterioro en jamón cocido rebanado durante el empacado al vacío por la acción de *Leuconostoc* y *Weissella* que son capaces de producir cambios perceptibles en los cárnicos como lo son la acidez y exudados. La industria láctea tampoco está exenta del deterioro por BAL, ya que en la producción de leche y queso se ha demostrado que, al tener una temperatura mayor a 4° C, estos microorganismos son capaces de formar biopelículas y deteriorar el alimento durante su almacenamiento (Xu et al, 2020).

Las estrategias de intervención actuales para prevenir la actividad de microorganismos responsables del deterioro y mejorar la seguridad de la cerveza incluyen pasteurización, filtración, sulfatación y estrictas prácticas de limpieza y saneamiento. Al utilizar desinfectantes como el hipoclorito de sodio, la reducción de las bacterias suele ser limitada (en promedio es de 2-3 Log UFC); además de los efectos que pueden generar la descarga de estos compuestos químicos en el ambiente o en el consumidor debido a residuos en el alimento (Fraser y col., 2021) y además existe una fracción de la población que muestra alergia a los sulfitos. Otra alternativa es el uso de levaduras, ya que algunas de ellas secretan toxinas que inhiben el crecimiento de hongos y bacterias deterioradoras. Por otra parte, también se ha estudiado el uso de bacterias con actividad antagónica para inhibir completa o parcialmente el crecimiento de bacterias no deseadas; esto debido a la competencia, exclusión o desplazamiento que hay entre las bacterias (Choi et al., 2018)

La relación BAL y bacteriófagos se ha estudiado principalmente en productos lácteos fermentados, en donde la presencia de estos virus es indeseable porque detiene la actividad de los cultivos

iniciadores que da las características organolépticas propias de estos alimentos (Pujato, 2019). En contraste, investigaciones recientes han demostrado la capacidad de los bacteriófagos para actuar como métodos naturales de conservación de alimentos, aunque hasta la fecha solo se han realizado unos pocos estudios sobre bacteriófagos que infectan a BAL (Feyereisen y col., 2019).

El deterioro de la cerveza por BAAC suele presentarse por la formación de biopelículas, turbidez e incluso por provocar una pérdida de alcohol acompañada de la formación de ácido acético, lo cual vuelve a la cerveza más densa con sabores desagradables y cambios en el color. Para evitar estos problemas por deterioro, en la actualidad se aplican buenas prácticas de saneamiento y se utiliza mayormente acero inoxidable en los equipos y superficies de producción para facilitar la limpieza y desinfección. Las principales BAAC que deterioran la cerveza son *Gluconacetobacter xylinus*, *Acetobacter pasteurianus* y *Gluconobacter oxydans* (Atchelowa et al., 2018).

En el presente trabajo, los bacteriófagos que mostraron capacidad antimicrobiana fueron aislados de las superficies de llenado de la cerveza, en donde se dificulta los procesos de higienización. Con esto, se propicia la persistencia de BAL y BAAC, que pueden llegar al producto terminado (Feyereisen et al, 2019). El estudio de bacteriófagos como bioconservadores en la industria alimentaria se ha desarrollado a partir del 2006, cuando su uso fue aprobado por la FDA en Estados Unidos. Comercialmente, se han probado en alimentos como cárnicos, lácteos y hortalizas en bacterias como *Salmonella*, *E. coli* y *Listeria* (Li y col., 2021); lo que hace una buena opción el uso de bacteriófagos como una estrategia de reducción e incluso eliminación de microorganismo. Se requiere caracterizar los bacteriófagos aislados, profundizar en los mecanismos de inhibición y en la optimización del proceso para generar una estrategia confiable y certera para aplicarse en la industria.

Referencias bibliográficas

- Attchelouwa, C. K., N'guessan, F. K., Aké, F., & Djè, M. K. 2018. Molecular identification of yeast, lactic and acetic acid bacteria species during spoilage of tchapalo, a traditional sorghum beer from Côte d'Ivoire. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(11), 1-10.
- Cerveceros de México. 2020. *Conociendo la agroindustria cervecera*. INEGI. <https://cervecerosdemexico.com/estadisticas-a-proposito-de>
- Choi, A. R., Patra, J. K., Kim, W. J., & Kang, S. S. 2018. Antagonistic activities and probiotic potential of lactic acid bacteria derived from a plant-based fermented food. *Frontiers in microbiology*, 10(8): 979-983
- Ferrero, F., Tabacco, E., Piano, S., Casale, M., & Borreani, G. 2021. Temperature during conservation in laboratory silos affects fermentation profile and aerobic stability of corn silage treated with *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus hilgardii*, and their combination. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1696-1713.
- Feyereisen, M., Mahony, J., Lugli, G. A., Ventura, M., Neve, H., Franz, C. M., ... y Van Sinderen, D. 2019. Isolation and characterization of *Lactobacillus brevis* phages. *Viruses*. 11:393.
- Fraser, A. M., Anderson, J., Goncalves, J., Black, E., Starobin, A., Buckley, D., ... & Hollingsworth, J. 2021. Sanitizers and disinfectants: A retail food and foodservice perspective. *Food Protection Trends*, 41(3), 358-367.
- Gill, A. 2017. The importance of bacterial culture to food microbiology in the age of genomics. *Frontiers in Microbiology*. 8:777-780.
- Gomes, R. J., Borges, M. D. F., Rosa, M. D. F., Castro-Gómez, R. J. H., & Spinosa, W. A. 2018. Acetic acid bacteria in the food industry: systematics, characteristics and applications. *Food Technology and Biotechnology*. 56:139-151.
- Huang, C., Shi, J., Ma, W., Li, Z., Wang, J., Li, J., & Wang, X. 2018. Isolation, characterization, and application of a novel specific *Salmonella* bacteriophage in different food matrices. *Food research international*, 111, 631-641.
- Kortright, K. E., Chan, B. K., Koff, J. L., & Turner, P. E. 2019. Phage therapy: a renewed approach to combat antibiotic-resistant bacteria. *Cell host & microbe*, 25(2), 219-232.
- La China, S., Zanichelli, G., De Vero, L., & Gullo, M. 2018. Oxidative fermentations and exopolysaccharides production by acetic acid bacteria: a mini review. *Biotechnology letters*, 40(9), 1289-1302.
- Li, H., Sun, X., Liao, X., & Gänzle, M. 2020. Control of pathogenic and spoilage bacteria in meat and meat products by high pressure: Challenges and future perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3476-3500.
- Li, J., Zhao, F., Zhan, W., Li, Z., Zou, L., & Zhao, Q. 2022. Challenges for the application of bacteriophages as effective antibacterial agents in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2), 461-471.
- Petruzzi, L., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. 2017. Microbial spoilage of foods: Fundamentals. In *The microbiological quality of food*. Woodhead Publishing. 1-21
- Pujato, S. A., Quiberoni, A., & Mercanti, D. J. 2019. Bacteriophages on dairy foods. *Journal of applied microbiology*, 126(1), 14-30.
- Ripolles-Avila, C., García-Hernández, N., Cervantes-Huamán, B. H., Mazaheri, T., & Rodríguez-Jerez, J. J. 2019. Quantitative and compositional study of monospecies biofilms of spoilage microorganisms in the meat industry and their interaction in the development of multispecies biofilms. *Microorganisms*, 7(12), 655.
- Rodríguez-Saavedra, M., de Llano, D. G., & Moreno-Arribas, M. V. 2020. Beer spoilage lactic acid bacteria from craft brewery microbiota: Microbiological quality and food safety. *Food Research International*, 138, 109762.
- Schneiderbanger, J., Grammer, M., Jacob, F., y Hutzler, M. 2018. Statistical evaluation of beer spoilage bacteria by real-time PCR analyses from 2010 to 2016. *Journal of the Institute of Brewing*. 124:173-181.
- Sharma, S., Chatterjee, S., Datta, S., Prasad, R., Dubey, D., Prasad, R. K., & Vairale, M. G. 2017. Bacteriophages and its applications: an overview. *Folia Microbiologica*, 62:17-55.
- Xu, Z., Luo, Y., Mao, Y., Peng, R., Chen, J., Soteyome, T., ... & Kjellerup, B. V. 2020. Spoilage lactic acid bacteria in the brewing industry.

Redes multicapa como herramienta de análisis de la microbiota

Víctor Lázaro Vidal¹, Zyanya Mayoral Peña², Etzel Garrido², Roberto Álvarez Martínez¹

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales, Laboratorio de Genética Molecular y Ecología Evolutiva.

¹ Laboratorio de Biología Cuantitativa y Sistemas Complejos

² Laboratorio de Evolución Teórica y Aplicada

Datos de contacto: Víctor Lázaro Vidal lav_victor@outlook.com,

Roberto Álvarez Martínez roberto.alvarez@uaq.edu.mx

Resumen

El todo es más que la suma de sus partes es una frase que expresa la esencia de los sistemas complejos, que son el producto de la interacción entre sus componentes. La teoría de redes ha sido una herramienta muy útil para estudiar este tipo de sistemas, de los cuales podemos encontrar abundantes ejemplos en distintas disciplinas, y la biología no es la excepción. Redes de regulación transcripcional, ecosistemas, la comunicación entre neuronas o la regulación endocrina son algunos ejemplos. Sin embargo, las redes no suelen ser sistemas aislados y también pueden ser parte de sistemas más grandes a los que se pueden conectar con otras redes a su vez. Recientemente, el concepto de redes multicapa ha adquirido importancia como una herramienta útil en el estudio de los sistemas complejos (Bianconi, 2018). En el presente trabajo analizamos datos de secuenciación del gen 16S que contienen la abundancia de ASV (*Amplicon Sequence Variant*) bacterianos asociados al escarabajo *Lema daturaphila* y la planta de la que este se alimenta, la solanácea *Datura inoxia*. Construimos a partir de estos, redes de coabundancia que posteriormente fueron analizadas bajo el enfoque de las redes múltiples.

Palabras clave: Redes multicapa, microbiota, redes temporales, redes multiplex, sistemas complejos, abundancias bacterianas.

Abstract

The whole is more than the sum of its parts is a phrase that expresses the essence of complex systems, which are the product of the interaction between their components. Network theory has been a very useful tool to study this type of systems, of which we can find abundant examples in different disciplines, and biology is no exception. Transcriptional regulatory networks, ecosystems, communication between neurons or endocrine regulation are some examples. However, networks are not usually isolated systems and can also be part of larger systems that can be connected to other networks in turn. Recently, the concept of multilayer networks has gained importance as a useful tool in the study of complex systems (Bianconi, 2018). In the present work, we analyzed 16S gene sequencing data containing bacterial ASV (*Amplicon Sequence Variant*) abundance associated with the beetle *Lema daturaphila* and the plant on which it feeds, the solanaceous plant *Datura inoxia*. We constructed from these, coabundance networks that were subsequently analyzed under the multiple networks approach.

Key words: multilayer networks, microbiota, temporal networks, multiplex networks, complex systems, bacterial abundances.

Introducción

Las redes son objetos matemáticos muy útiles en el estudio de sistemas complejos, es decir, en aquellos que están conformados por una serie de componentes que interactúan entre sí. Las redes que representan sistemas biológicos a menudo presentan particularidades en su arquitectura, como sucede, por ejemplo, en cascadas de señalización celular. Estas cuentan con redes robustas, pues unos pocos elementos mantienen la mayoría de las conexiones, haciendo que la red sea poco susceptible a perder funcionalidad ante ataques aleatorios a su estructura (Zheng et al., 2019). Esta característica es particularmente importante, ya que, si hablamos de sistemas de regulación génica dirigidos a mantener el funcionamiento de una célula, será más probable que un ataque aleatorio o no dirigido afecte a un componente no esencial de la red, a que interfiera con un elemento que sí resulte ser de vital importancia (Aleta & Moreno, 2019).

Sin embargo, las redes no suelen ser sistemas aislados y, al igual que sus componentes, las redes interactúan entre sí, con lo que generan nuevos fenómenos emergentes a distintos niveles. El enfoque de estudiar no solo las interacciones dentro de una red individual sino también las que ocurren con otras redes es lo que conocemos como redes multicapa (Zheng et al., 2019). A pesar de que este concepto surgió en el ámbito de las ciencias sociales, este enfoque ha tomado fuerza en distintas ramas del conocimiento, incluyendo a las ciencias biológicas (Bianconi, 2018).

Las redes multicapa pueden ser utilizadas para analizar la forma en la cual distintos sistemas interactúan o la forma en la que estos evolucionan en el tiempo (Bianconi, 2018). Uno de estos enfoques son las redes temporales, donde cada capa corresponde a un estado de la red en una fracción determinada de tiempo, por lo que permite visualizar cómo cambia la estructura de dicha red con respecto al tiempo (Zuzek et al., 2015). También tenemos el

caso de sistemas que pueden interactuar a distintos niveles, como los mecanismos de regulación de una célula, en la que distintas proteínas pueden interactuar directamente con el ADN o ARNs y bloquear el procesamiento de algunos transcritos. Esto significa que cada una de las capas de la multired puede interactuar con cualquiera de los nodos en las otras capas (Bianconi, 2018). Finalmente, podemos destacar el caso de las redes multiplex, que representan a conjuntos de nodos que interactúan de formas distintas bajo diferentes condiciones, como puede ser la regulación génica de un tejido en pacientes sanos con respecto a pacientes con cáncer (Aleta & Moreno, 2019). Por su puesto, la microbiota también ha podido ser analizada bajo este enfoque, pues permite estudiar la arquitectura de la red a través del tiempo o bajo dos condiciones distintas. Un ejemplo son las interacciones entre insecto, planta y microbiota, donde ésta última media la relación de ciertos insectos con las plantas de las que se alimentan.

Las plantas, como cualquier organismo multicelular, se encuentran constantemente en contacto con poblaciones bacterianas, con algunas de las cuales han desarrollado relaciones simbióticas. En las raíces de las plantas, se han identificado comunidades de bacterias (rizobacterias) promotoras del crecimiento de las plantas o PGPB, por sus siglas en inglés. Estas actúan mediante diversos mecanismos que incluyen favorecer la biodisponibilidad de minerales solubles a las raíces, inhibir la proliferación de bacterias patógenas, la secreción de ciertas enzimas y la regulación de fitohormonas. A menudo estas bacterias actúan en conjunto con comunidades de hongos conocidos como micorrizas, suministrando agua y soporte a la planta, que a cambio provee de azúcares derivados de la fotosíntesis (Zytynska, 2021). Se ha documentado que algunas bacterias son capaces de ofrecer resistencia contra ciertas plagas, tal es el caso de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Pseudomonas putida* y *Acidovorax radialis*, que se han asociado a una reducción en las poblaciones de

áfidos. Este efecto lo logran potenciando la producción de compuestos fenólicos volátiles y fitohormonas como el ácido jasmónico y el ácido salicílico en las hojas (Haney et al., 2018). Podemos destacar también que el contacto con las lombrices de tierra se ha asociado a una mejora en la integración de las raíces con la microbiota, debido a que enriquecen y transportan poblaciones de rizobacterias y la biodisponibilidad de algunos nutrientes. Esta relación recurrente entre plantas con insectos con los que poseen un contacto frecuente implica también el intercambio de parte de la microbiota de ambos (Arora & Malik, 2021). El papel que la microbiota juega en esta relación es aún motivo de investigación, por lo que herramientas como las redes multicapa pueden ayudarnos a entender mejor cómo sucede esta dependencia.

En este trabajo analizamos y contrastamos los bacteriomas de dos interactuantes, el insecto *Lema daturaphila* y su planta huésped *Datura innoxia*, utilizando el enfoque de las redes multicapa. Con esto, se pretende identificar nodos relevantes en la arquitectura de la red, analizar la distribución de los grandes grupos taxonómicos, identificar comunidades bacterianas altamente interconectadas y, finalmente, emplear dicha información para identificar si existe o no una posible relación entre la importancia de los nodos y su funcionalidad biológica para los huéspedes.

Metodología

Se analizó un conjunto de datos de secuenciación, obtenidos en el laboratorio de Evolución Teórica y Aplicada de la UAQ, de la microbiota del escarabajo *L. daturaphila* y la planta de la que este se alimenta, la solanácea *D. innoxia*. El insecto *Lema daturaphila* es un escarabajo de la familia *Chrysomelidae*, caracterizado por su color amarillo anaranjado brillante. Sus élitros están marcados con líneas de color marrón oscuro, una a cada lado y otra a lo

largo de la sutura entre las alas (Goldberg, 2020). En general, el género *Lema* es considerado plaga de varias especies de solanáceas, como el jitomate, la papa y algunas ocasiones en el tomatillo (Kogan et al., 1970).

Como datos de entrada para construir las redes, se empleó una tabla de abundancias absolutas de los ASV y una tabla de taxones, que contenía la clasificación de los ASV. Los datos fueron previamente obtenidos mediante la amplificación de genes 16S-rRNA bacterianos a partir de muestras de la microbiota del escarabajo (huevos, intestino y excremento) y de la solanácea (endófitos, epifitos y semillas); previamente se colapsaron las tablas a nivel género y se eliminaron todos los ASV que carecían de una clasificación a dicho nivel taxonómico.

Para la realización de este trabajo, se utilizó la versión 4.1.0 (2021-05-18) del lenguaje de programación R. Se emplearon los paquetes *igraph*, *phyloseq*, *SpiecEasi*, *minet* y *muxViz* de dicho lenguaje. Algunos de los paquetes están disponibles en CRAN y otros fueron descargados de repositorios de GitHub o del proyecto para análisis de datos genómicos Bioconductor (Csardi & Nepusz, 2006; McMurdie & Holmes, 2013; Kurtz et al., 2021; Meyer et al., 2008; De Domenico, 2015).

Se utilizaron tres algoritmos distintos para inferir redes de coabundancia a partir de los datos obtenidos: *SpiecEasi*, *Aracne* y *SparCC* [12, 13]. El algoritmo *SparCC* del paquete *SpiecEasi* estimó las conexiones entre nodos a partir de la covarianza de los datos. Por su parte, el algoritmo *Aracne* del paquete *minet* calcula las correlaciones de todos los tripletes posibles entre nodos y elimina de cada conjunto el que posea una conexión más débil. El algoritmo *SPIEC-EASI* del *SpiecEasi* estimó la independencia condicional entre nodos mediante el método de vecindad (MB) y el de covarianza inversa (Glasso) (Kurtz et al., 2021).

Previamente se aislaron los datos correspondientes a cada una de las capas de las redes. En el primer caso, se separaron los datos muestrales que corresponden al escarabajo *L. daturaphila* y a la solanácea *D. inoxia*. Se infirieron redes de coabundancia para cada uno de los datos aislados y, posteriormente, se ajustó el tamaño de los nodos como función de la abundancia relativa de cada nodo. También se crearon funciones, en R, que nos permitieran asociar cada nodo al *phylum* al que pertenecen. Después, se analizó la topología de las redes obtenidas mediante un análisis de centralidad, el agrupamiento de los nodos y la distribución de las conexiones.

Se ensamblaron las redes multicapa mediante los paquetes muxViz y multinet. Para el caso de la red escarabajo-solanácea, se consideró el enfoque de una red multiplex, debido a que se buscaba identificar las similitudes y discrepancias entre la microbiota del insecto y la de su fuente de alimento. Además, se comparó la importancia de los nodos entre las capas de las multirredes mediante distintas medidas de centralidad, así como también se compararon los agrupamientos identificados en cada una de las capas. También, se analizó la abundancia de los *phyla* en las muestras tomadas de distintas secciones del insecto (huevos, intestino y excremento) y de la planta (endófitos, epifitos y semillas). Finalmente, se realizó una prueba de t-Student a los nodos más abundantes con el fin de identificar aquellos que difirieran significativamente entre capas.

Resultados

El análisis de la distribución de las conectividades de las redes revela, tal y como se había planteado en la hipótesis, que se trataba de una distribución de cola larga debido a que la mayor parte de las conexiones se concentraban en unos pocos nodos. Ninguna de las redes poseía una distribución unimodal, en particular para la distribución normal ($P < 0.05$). De los tres algoritmos empleados en la inferencia de redes, solo Aracne y SparCC fueron utilizados en la construcción de las redes multicapa, con lo que se

descartó el uso de SPIEC-EASI para posteriores análisis. Este último está basado en la independencia condicional de los nodos, que es mucho más selectivo que los otros dos algoritmos, por lo que arrojó redes inconexas.

Las redes multicapa construidas con SparCC y Aracne de escarabajo-solanácea, en ambos casos, revelaron a Proteobacteria como el *phylum* con mayor abundancia y conectividad en ambas capas (Figura 1). Del mismo modo, la abundancia relativa de este *phylum* en las muestras de todos los tejidos examinados fue dominante.

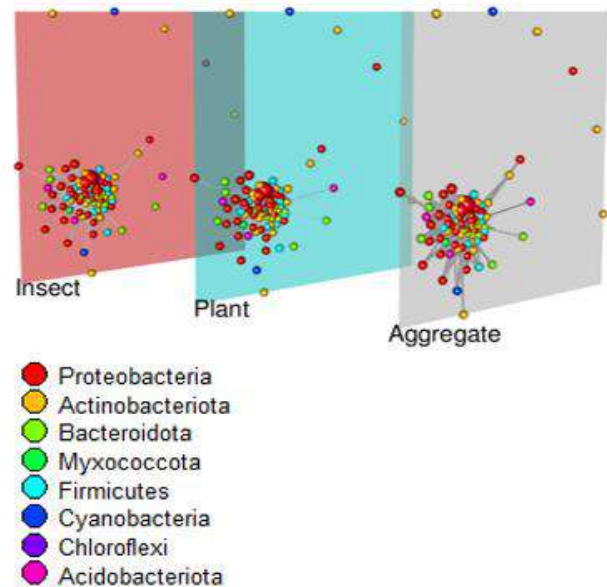


Figura 1. Red multiplex (SparCC) de escarabajo-solanácea, incluyendo la capa *aggregate*, que representa la suma de las conexiones de todas las capas anteriores. El tamaño de los nodos está en función de su abundancia relativa, cuyo color está asociado al *phylum* al que pertenecen. Fuente: Elaboración propia.

En las muestras extraídas del escarabajo, se encontró una gran abundancia de las gammaproteobacterias *Serratia* y *Pseudomonas*, pero una abundancia muy baja para el resto de ASV presentes. Por su parte, la microbiota de la solanácea mostró una mayor diversidad de ASV con abundancias altas; dentro de los que podemos destacar gammaproteobacterias como *Pseudomonas*, *Pantoea*, *Siccibacter*,

Janthinobacterium y *Massilia*. En particular, las muestras de excremento e intestino del insecto mostraron una diversidad de *phyla* muy baja ante la abundancia dominante de Proteobacteria. Lo mismo sucede con las muestras endófitas extraídas de la planta; aquellas con mayor diversidad fueron las extraídas de los huevos del insecto y las muestras de epífitas de la solanácea, que también mostraron una presencia importante de Actinobacteria y Bacteroidetes, y en menor medida también de Firmicutes (Figura 2).

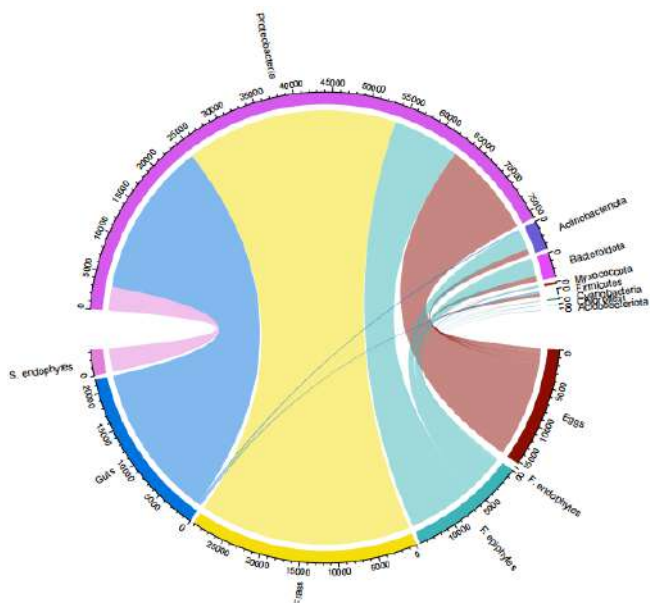


Figura 2. Se analizó la distribución de los *phylum* en las muestras de los distintos tejidos, de donde se muestra una presencia dominante de Proteobacteria en todas las muestras, seguido en menor medida por Actinobacteria y Bacteroidetes. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de centralidades por conectividad (*degree*) reveló que, a pesar de la variación de las abundancias entre ambos organismos, las Proteobacterias conservan un alto grado de centralidad entre capas; esto sugiere que podrían tener una importancia a nivel funcional en la interacción planta-insecto (Figura 3). Dentro de este grupo podemos destacar a *Siccibacter* y *Pantoea* en la microbiota del escarabajo, mismas que también mostraron previamente una abundancia relativa alta. El género *Salmonella* también mostró un *degree* alto

en la red SparCC, aunque no se encontrara dentro de los OTUs con mayor abundancia relativa.

En el caso de la solanácea, la diversidad de especies con un *degree* elevado fue mucho mayor. Destacan alfa proteobacterias como *Sphingomonas*, *Skermanella*, *Methylobacterium* y *Microvirga*, además de gamma proteobacterias como *Janthinobacterium* y *Massilia*. En menor proporción se encontraron también bacterias ajenas al *phylum* Proteobacteria como *Actinoplanes*, *Hymenobacter* y *Cystobacter*, pertenecientes a Actinobacteria, Bacteroidetes y Myxococcota, respectivamente.

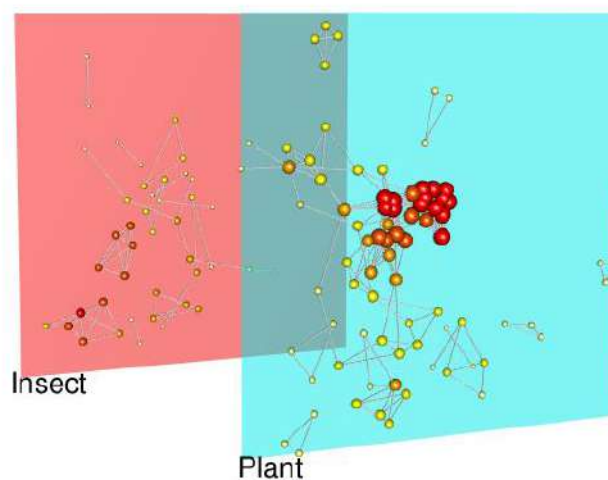


Figura 3. Red multiplex (ARACNe) de la centralidad por *degree* entre las capas. Nodos con tonos más próximos al rojo indican un mayor número de conexiones. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de centralidad por cercanía mostró valores altos para casi todos los nodos debido a la alta interconectividad de los agrupamientos. Del mismo modo, no se encontró consenso al respecto de la centralidad por *betweenness* entre los dos algoritmos.

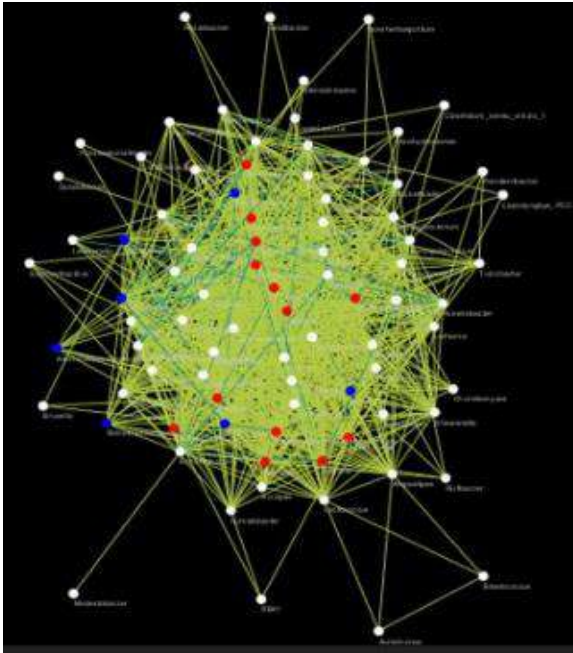


Figura 4. Gráfico de la variación de los nodos entre las capas de la red bipartita. Los nodos marcados en rojo son aquellos que poseen diferencias significativas en las abundancias entre capas, mientras que los azules son aquellos que no poseen diferencias significativas entre ambas redes. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la abundancia de los géneros *Kosakonia*, *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas*, *Azomonas*, *Rhizobium*, *Achromobacter* y *Enterobacter*, todos pertenecientes al phylum Proteobacteria. Por el contrario, las proteobacterias *Serratia*, *Siccibacter*, *Escherichia*, *Shigella*, *Pantoea*, *Janthinobacterium*, *Methylobacterium* y *Salmonella*, además de *Bacillus* y de Firmicutes, presentaron una mayor abundancia en los tejidos del escarabajo. Sin embargo, las proteobacterias *Sphingomonas*, *Massilia*, *Rubellimicrobium* y *Skermanella*, junto a *Hymenobacter* de Bacteroidetes tenían una abundancia mayor en los tejidos vegetales (Figura 4).

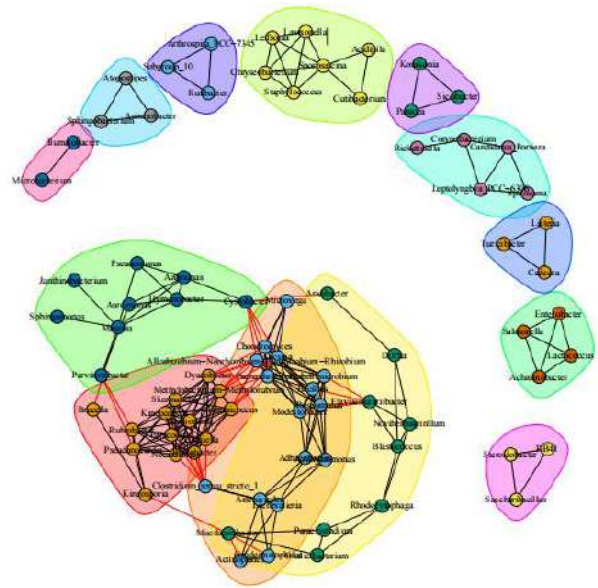


Figura 5. Agrupamiento de los nodos de una de las capas (solanácea) de la multired ARACNe escarabajo-solanácea. Los agrupamientos corresponden a regiones de la red ampliamente interconectadas en la capa de la solanácea, mismas que representan potenciales comunidades bacterianas identificadas mediante el método *Louvain*. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de agrupamiento reveló la presencia de conjuntos de nodos interconectados en ambas capas (Figura 5). Tanto en la red inferida en SparCC como en la red ARACNe, géneros como *Siccibacter*, *Pantoea*, *Hymenobacter*, *Paracoccus*, *Microbacterium*, *Marmoricola*, *Streptococcus*, *Paraclostridium*, *Corynebacterium*, *Chryseobacterium*, *Delftia*, *Sphingobacterium*, *Leifsonia* y *Duganella* se hallaron agrupados dentro de las capas del escarabajo. A pesar de que no hubiese consenso en los resultados arrojados por ambos algoritmos, la mayor parte de los nodos agrupados pertenecían a Proteobacteria y Actinobacteria.

En el caso de las capas de la solanácea, podemos destacar el caso de los géneros *Skermanella*, *Methylobacterium*, *Marmoricola*, *Brucella*, *Gaiella*, *Rubrobacter*, *Rhizobacter*, *Actinoplanes*, *Rubellimicrobium*, *Paenarthrobacter*, *Bacillus*, *Geodermatophilus* y *Microvirga*. Al igual que en el caso anterior, la mayor parte de los nodos

encontrados en los agrupamientos o *clusters*, pertenecen a Proteobacteria y Actinobacteria. Sin embargo, al igual que en el escarabajo, no se encontró un consenso claro en cuanto a la pertenencia de los géneros a los distintos agrupamientos, si bien su composición a nivel de *phylum* parece ser similar.

Discusión y conclusión

Aplicar las redes multicapa en el estudio de la microbiota permite identificar patrones que nos ayuden a comprender las características de las comunidades bacterianas, sin restringirse a las limitaciones que plantean las redes simples. Basado en lo anterior, se puede hacer un análisis comparativo entre las distintas capas.

Todos los análisis revelaron una amplia presencia del *phylum* Proteobacteria, un clado que, al ser muy ubicuo, es difícil de asociar a una función concreta en la relación escarabajo-solanácea. Se conoce que los organismos pertenecientes a este *phylum* se hubican a lo largo de un espectro muy amplio que incluye a especies comensales, patógenas, simbioses y bacterias de vida libre. Sin embargo, su preponderancia en ambas capas con respecto a otros *phyla* sugiere que podría tener un papel destacado en la relación entre ambos organismos interactores.

Dentro del *phylum* Proteobacteria, cabe señalar a la clase Alfaproteobacteria, algunas de las cuales están asociadas a los tejidos vegetales y se desempeñan como bacterias fijadoras de nitrógeno. Algunas de las alfaproteobacterias identificadas en las muestras de la planta, tales como *Skermanella* y *Microvirga*, se encuentran en una gran variedad de hábitats, especialmente en el suelo (Martínez-Diz et al., 2019). Lo anterior en primera instancia nos llevaría a plantear la hipótesis de que se trata de bacterias de vida libre; sin embargo, el hecho de que estas se concentran casi exclusivamente en las muestras de epífitas sugiere una relación simbiótica. En

particular, en el género *Methylobacterium* podemos encontrar simbioses endófitas como *Methylobacterium symbioticum* y simbioses epífitas como *Methylobacterium extorquens* (Visakorpi et al., 2021); aunque en las muestras analizadas en este trabajo estas especies solo se encontraron en las muestras de epífitas. Lo anterior sugiere que la alta abundancia relativa de alfaproteobacterias en las muestras podría estar relacionada con una asociación de tipo mutualista o comensal, como bacterias fijadoras de nitrógeno, con los tejidos superficiales de la solanácea.

Las alfaproteobacterias mencionadas anteriormente se hallaron agrupadas en un clúster junto a otras bacterias como *Hymenobacter*, *Pseudomonas*, *Janthinobacterium* y *Massilia*. Además, todos estos géneros sólo se hallaron en las muestras de epífitas, lo que sugiere que forman una comunidad bacteriana cuyos miembros podrían tener funciones biológicas comunes. Sin embargo, la escasa diversidad de bacterias detectadas en las muestras de semillas y endófitas, también sugiere que la superficie de la planta podría simplemente ser un sitio más propicio para la proliferación de este tipo de bacterias comparado con el ambiente que proporcionan los otros dos tipos de tejidos. Debido a ello, se requiere de un análisis mucho más exhaustivo que involucre agrupar los nodos por su función biológica para verificar si los agrupamientos realmente corresponden a comunidades relacionadas por su actividad biológica.

En las muestras del insecto, por el contrario, se detectó que ciertas bacterias particularmente abundantes en heces e intestinos, como *Serratia*, *Pseudomonas*, *Siccibacter*, *Pantoea* y *Salmonella*, también fueron muy abundantes en las muestras de huevos. Este resultado podría explicarse debido a que las larvas suelen cubrirse de excremento como mecanismo protector contra los depredadores (Visakorpi et al., 2021). Este fenómeno también podría explicar por qué se encontraron estas mismas bacterias en la superficie de la planta a pesar de estar

fuertemente asociadas al intestino del escarabajo. Algunas de estas bacterias podrían estar involucradas en la digestión, pero también en la protección contra patógenos; esto sucede, por ejemplo, con *Serratia symbiotica* y su asociación con los áfidos, lo que le otorga, a este último, protección contra parásitos (Renoz et al., 2019). Esta hipótesis se ve sustentada por el hecho de que *Serratia* junto a *Pseudomonas* son los géneros más abundantes en las muestras y están ampliamente distribuidas en todos los tejidos analizados del insecto.

Además, el hecho de que la mayor parte de los agrupamientos encontrados en ambas capas tuviesen una composición similar a nivel de *phylum*, destacando la presencia de proteobacterias y actinobacterias, sugiere la existencia de comunidades bacterianas que podrían estar jugando un rol sobresaliente en la interacción del bacterioma planta-insecto. Tales resultados también indican que los géneros constituyentes de las comunidades bacterianas podrían ser filogenéticamente cercanos; además de la posibilidad de que compartan características a nivel funcional, para lo cual se requiere de un análisis más exhaustivo.

En conclusión, el análisis mediante redes multicapa identificó conjuntos de bacterias que podrían, dados los datos arrojados por los análisis, tener una función biológica importante en la regulación de la propia red y algunos incluso podrían actuar como simbioses de sus organismos huésped. Sin embargo, se requiere compaginar esta información con una base de datos de modo que podamos categorizar y etiquetar los nodos e identificar si las funciones comunes asociadas a los ASV corresponden con los agrupamientos hallados en este estudio.

Información suplementaria

Los datos y el código empleados en el presente artículo están disponibles en el repositorio

<https://github.com/Nertekkad/BeetleNightshade> de GitHub.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto FOFI-UAQ (FNB-2018-21) otorgado a RAM y el proyecto PRODEP-SEP (FNB-2021-1) otorgado a EG. También agradecemos la beca de posgrado otorgada por CONACyT a ZMP.

Referencias

- Aleta, A., & Moreno, Y. (2019). Multilayer networks in a nutshell. *Annual Review of Condensed Matter Physics*, 10, 45-62.
- Arora, R., & Malik, G. (2021). Microbe-Plant-Insect Interactions: A Comparative Dissection of Interactome. In *Plant-Pest Interactions: From Molecular Mechanisms to Chemical Ecology*. 365-398. Springer, Singapore.
- Bianconi, G. (2018). Multilayer networks: structure and function. Oxford University Press.
- Csardi, G., & Nepusz, T. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, complex systems*, 1695(5), 1-9.
- De Domenico, M., Porter, M. A., & Arenas, A. (2015). MuxViz: a tool for multilayer analysis and visualization of networks. *Journal of Complex Networks*, 3(2), 159-176.
- del Pilar Martínez-Diz, M., Andrés-Sodupe, M., Bujanda, R., Díaz-Losada, E., Eichmeier, A., & Gramaje, D. (2019). Soil-plant compartments affect fungal microbiome diversity and composition in grapevine. *Fungal Ecology*, 41, 234-244.
- Fausto, C., Mininni, A. N., Sofo, A., Crecchio, C., Scagliola, M., Dichio, B., & Xiloyannis, C. (2018). Olive orchard microbiome: characterisation of bacterial communities in soil-plant compartments and their comparison between sustainable and conventional soil management systems. *Plant Ecology & Diversity*, 11(5-6), 597-610.
- Goldberg, J. K. (2020). Towards Understanding the Mechanisms Maintaining a Stable Trichome Dimorphism in the Sacred Datura Plant (*Datura wrightii*). Doctoral dissertation, Indiana University.
- Haney, C. H., Wiesmann, C. L., Shapiro, L. R., Melnyk, R. A., O'Sullivan, L. R., Khorasani, S., ... & Ausubel, F. M. (2018). Rhizosphere-associated *Pseudomonas* induce systemic resistance to herbivores at the cost of susceptibility to bacterial pathogens. *Molecular Ecology*, 27(8), 1833-1847.

Kogan, M., & Goeden, R. D. (1970). The host-plant range of *Lema trilineata daturaphila* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Annals of the entomological Society of America*, 63(4), 1175-1180.

Kurtz, Z., Mueller, C., Miraldi, E., & Bonneau, R. (2019). SpiecEasi: Sparse inverse covariance for ecological statistical inference. *R package version*, 1(6).

McMurdie, P. J., & Holmes, S. (2013). phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PLoS one*, 8(4), e61217.

Meyer, P. E., Lafitte, F., & Bontempi, G. (2008). minet: AR/Bioconductor package for inferring large transcriptional networks using mutual information. *BMC bioinformatics*, 9(1), 1-10.

Renz, F., Pons, I., Vanderpoorten, A., Bataille, G., Noël, C., Foray, V., & Hance, T. (2019). Evidence for gut associated *Serratia symbiotica* in wild aphids and ants provides new perspectives on the evolution of bacterial mutualism in insects. *Microbial ecology*, 78(1), 159-169.

Visakorpi, K., Gripenberg, S., Malhi, Y., & Riutta, T. (2021). Does insect herbivory suppress ecosystem productivity? Evidence from a temperate woodland. *bioRxiv*.

Zheng, W., Wang, D., & Zou, X. (2019). Control of multilayer biological networks and applied to target identification of complex diseases. *BMC Bioinformatics*, 20(1), 1-12.

Zuzek, L. A., Stanley, H. E., & Braunstein, L. A. (2015). Epidemic model with isolation in multilayer networks. *Scientific Reports*, 5(1), 1-7.

Zytynska, S. E. (2021). Embracing the complexity of plant–microbe–insect interactions under a changing climate for sustainable agriculture. *Current opinion in insect science*, 44, 89-94.

