

ECOS

DEL TERCER

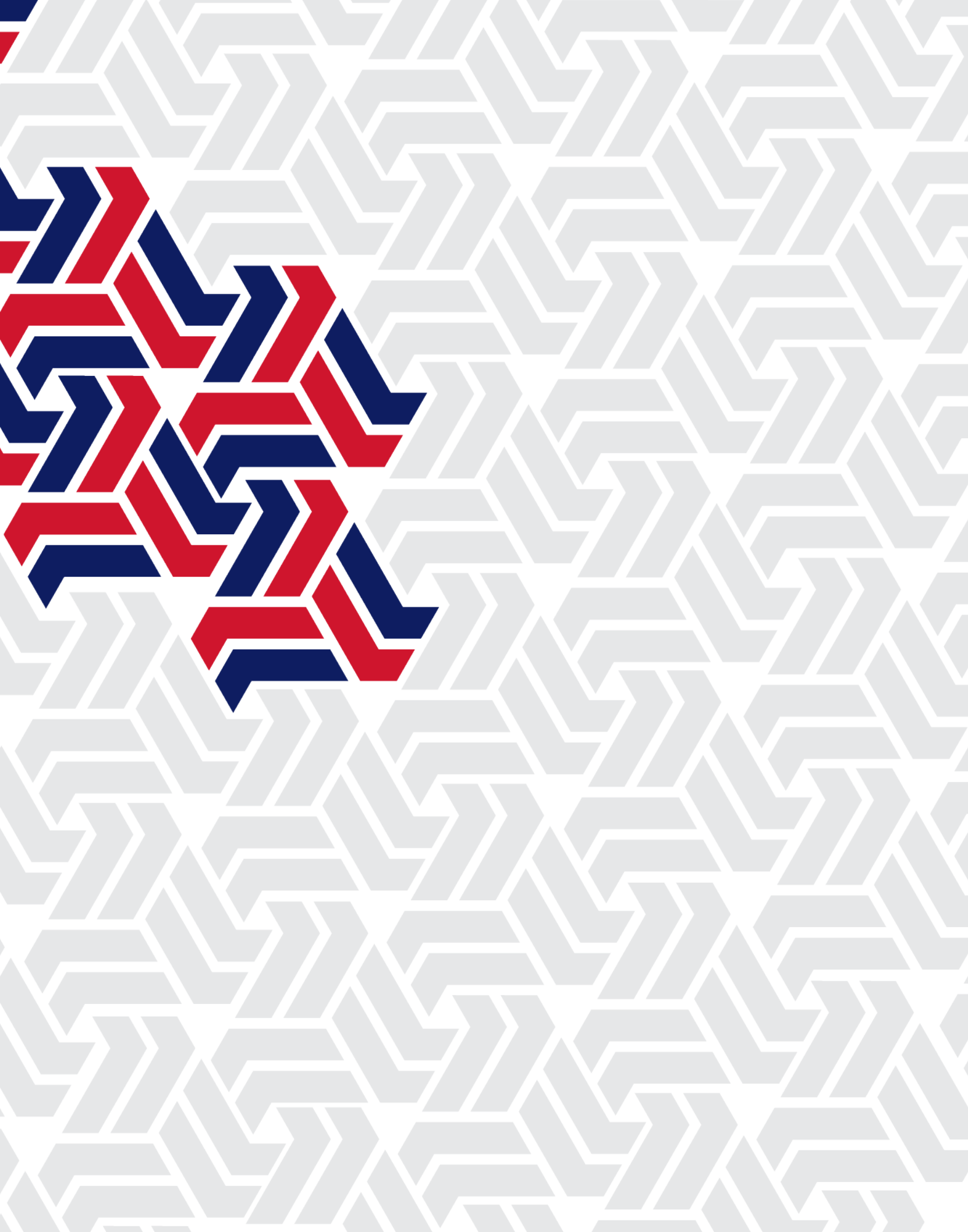
CONGRESO

NACIONAL

de Investigación de Posgrado
2024



Universum
Nostrum



Ecos del Tercer Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío

Ecos del Tercer Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío



Universum
Nostrum

***Ciencia e
innovación
para la
sociedad del
futuro***

Ecos del Tercer Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío
Autores varios
2024

Ecos del Tercer Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío
Primera edición
Diciembre de 2024
D. R. © Universidad De La Salle Bajío A. C.

Universum Nostrum
Universidad La Salle Bajío
Universidad De La Salle Bajío A. C.
Av. Universidad 602, Lomas del Campestre, 37150
León, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-26764-0-4

001.4 - Investigación
GTZ - Estudios generales

Edición: Christian Saúl Hernández Pérez
Corrección de estilo: Tanhia Soledad Mota Sánchez

Editado y hecho en México

Los responsables de esta publicación y de la organización del Congreso no necesariamente comparten las ideas contenidas en los artículos de este libro; éstas son responsabilidad exclusiva de sus autores.

Todos los derechos reservados. Se prohíbe su comercialización. Esta obra pertenece a la Universidad De La Salle Bajío A. C., institución que, a través de su editorial Universum Nostrum, la hace pública en formato digital y en acceso abierto.

Licencia CC BY-NC-SA 4.0



ÍNDICE

Ecós del Tercer Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío

Nota del editor _ _ _ _ _ 17

Derechos humanos

Diagnóstico de necesidades en materia de salud de usuarias y usuarios
del Centro Educativo de Servicios para la Comunidad (CESCOM) _ _ 23

Gerardo Covarrubias Valderrama, Jaime Miguel González Chávez

Brecha de género en estudiantes universitarios de Ciencias, Tecnologías,
Ingenierías y Matemáticas (STEM) en la UNED: hallazgos cuantitativos
_ _ _ _ _ 43

Ariana Acón Matamoros

La utilización del enfoque interseccional en el análisis de la violencia
contra las mujeres: una revisión de la literatura _ _ _ _ _ 65

Verenice Baños Rebolledo

Arte, arquitectura y espacio

Divergencia entre el crecimiento urbano y el desarrollo industrial de
Altamira, Tamaulipas: una problemática crítica _ _ _ _ _ 89

María del Carmen Anaya Zamora, Diana Celia Echartea Cuevas

El diseño del entorno físico de trabajo como instrumento estratégico de la cultura organizacional _ _ _ _ _ 101

Mtra. Gloria del Carmen Ramírez Saldaña, Dr. Rodrigo Franco Muñoz, Dr. Alejandro Acosta Collaz

Salud

Los determinantes sociales como impulsores del bienestar sanitario en México 2001-2020. Un estudio de panel de datos _ _ _ _ _ 127

Daniel Carrillo Gómez

La mecatrónica médica en el área de la fisioterapia: un caso de estudio_ _ _ _ _ 155

Alonso Alejandro Jiménez Garibay, Claudia Figueroa Padilla, María Dayana Pérez Ledesma, José Guadalupe Uriel Palacios Campos

Función de los neutrófilos en la pérdida del implante dental en pacientes con periimplantitis _ _ _ _ _ 171

Erika Jazmín Rangel Yebra, Luis Roberto Galaviz Lozano, Mireille Santamaría Herrera, Mayemi Pamela Santiago Martínez, María Teresa Zermeño Loredó, Ismael Secundino

Educación

Análisis de la literacidad crítica en estudiantes de segundo semestre a partir de un taller de escritura creativa en el semestre enero-junio 2024 _ _ _ _ _ 185

José Antonio García Páramo

Ingenierías y tecnologías

Instrumentación y evaluación de un sistema de celda de carga para secador rotatorio con acondicionamiento de señal aplicando un sistema difuso _ _ _ _ _ 207

Juan Manuel Tabares Martínez, Adriana Guzmán López, Micael Gerardo Bravo Sánchez, Coral Martínez Nolasco, Juan José Martínez Nolasco, Alejandro Israel Barranco Gutiérrez

Aplicación de las arquitecturas U-Net y ResU-Net para la segmentación de esqueletos de arterias coronarias _ _ _ _ _ 223

Juan Manuel Cuevas Gaytan, Emmanuel Ovalle-Magallanes

Desarrollo de un sistema de automatización de los procesos que involucran tambores en el sector de la curtiduría _ _ _ _ _ 237

Salvador Navarro Garza, Juan Manuel de Julián Vázquez Tejeda, Emmanuel Jonathan Aguilar Perales, Alma Adriana Camacho Pérez

Dispositivo asistente para problemas de estrés y ansiedad que viven los jóvenes universitarios _ _ _ _ _ 247

Luz Adriana Martínez Zavala, Germán Pérez Maciel, Paulina García Campos, Paulina Lilian Montiel Ordaz, Marysol García Pérez

Medio ambiente

Preparación de nanopartículas de óxido de titanio dopado con cerio y su aplicación en degradación fotocatalítica de colorantes asistida con luz LED _ _ _ _ _ 275

Adriana Benítez Rico, Alonso Reynoso de la Garza

Diseño e instalación de un sistema para el tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial en una población de Los Altos de Jalisco _ _ _ _ _ 285

Aldo Antonio Castañeda Villanueva, Roberto Huerta Orozco, Amelia Nayeli López Cerpa

Agronomía

Densidad de población y producción de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*), variedad Copena-1 en condiciones de temporal _ _ _ _ _ 323

J. Encarnación García-Portuguez, Saturnino Duarte Ramos

Sustancias orgánicas y sus efectos sobre supervivencia, oviposturas y alimentación del picudo del chile *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) _ _ _ _ _ 337

Paulina Lerma Mendoza, Andrés Cruz Hernández, Sinue Isabel Morales Alonso

Nota del editor

En el año 2024, el Congreso Nacional de Investigación de la Universidad La Salle Bajío llegó a su tercera edición. Con este congreso, organizado por la Dirección de Investigación y Doctorado de la Universidad, se pretende reunir e integrar a investigadores e investigadoras de todo el territorio nacional, para promover el conocimiento y la colaboración entre instituciones y disciplinas.

Desde sus primeras ediciones, el equipo organizador ha hecho un esfuerzo por difundir los trabajos presentados en este evento mediante la publicación de sus *memorias*. A partir de este año, este esfuerzo se orientó a fortalecer, formalizar y normalizar los criterios y el proceso editorial que están detrás de esta publicación. Por esta razón, ahora se publican estos *Ecos* del Congreso en un libro digital con ISBN y en Acceso Abierto.

Esperamos que estos pasos hacia la calidad editorial de este producto sean de ayuda para la consolidación de las trayectorias académicas de los y las participantes del Congreso. Hacemos una atenta invitación a que lo difundan entre sus colegas y comunidades de investigación y a que promuevan la colaboración interinstitucional e interdisciplinaria en los procesos de investigación científica.

Área

***Derechos
humanos***

Diagnóstico de necesidades en materia de salud de usuarias y usuarios del Centro Educativo de Servicios para la Comunidad (CESCOM)

Diagnosis of health needs of users of the Community Services Educational Center (CESCOM)

Gerardo Covarrubias Valderrama¹ / Jaime Miguel González Chávez¹

¹Universidad Iberoamericana León

Correspondencia: gerardo.covarrubias@iberoleon.edu.mx

 ORCID ID: 0009-0000-3692-8087

Resumen: El proyecto de investigación «Propuestas de acciones de mejora en las estrategias de atención del CESCOM para acompañar a la comunidad de San Pedro de los Hernández en el contexto del impacto del COVID 19» (Covarrubias, Delgado y Arriola, 2022) mostró que los servicios más utilizados de CESCOM son los educativos, con un 60 %, solo detrás de los servicios de salud (psicológico y nutrición) que representan casi un 40 % en conjunto.

En cuanto a la evaluación de los servicios en materia de salud, la mitad (50 %) de las usuarias y los usuarios de los servicios psicológicos los consideran excelentes y buenos, mientras que dos de cada diez consideran excelentes y buenos los servicios en materia de nutrición (20 %). A lo anterior, hay que agregar que más de un tercio (+30 %) de las y los usuarios del CESCOM informaron sobre algún problema de salud cuya atención se da cuando se encuentran enfermos o muy enfermos en la mitad de los casos (50 %).

Los objetivos de investigación del proyecto anterior impidieron profundizar en estos hallazgos, por lo que esta investigación de continuidad busca conocer sus causas y las necesidades de las usuarias y los usuarios del CESCO y de la colonia San Pedro de los Hernández en materia de salud.

Esta propuesta busca profundizar en la dimensión de la vida comunitaria, actualizando los hallazgos y analizando las prácticas de salud familiar para el diagnóstico de necesidades prioritarias en áreas de salud mental, alimentación, prevención y asistencia médica. En resumen, la investigación busca aportar conocimiento que permita contribuir a la misión del CESCO: «Contribuir a la formación integral de la comunidad universitaria y promover el desarrollo de personas y grupos en situación de pobreza, vulnerabilidad y exclusión, mediante actividades y proyectos que respondan a las problemáticas sociales desde una perspectiva ignaciana» (CESCO, 2022).

Abstract: The research project, “Proposals for improvement actions in CESCO care strategies to accompany the community of San Pedro de los Hernández in the context of the impact of COVID 19” (Covarrubias, Delgado and Arriola, 2022) showed that the most used services of CESCO are educational services with 60%, only behind health services (psychological and nutrition) that represent almost 40% together.

As for the evaluation of health services, half (50%) of the users of psychological services consider them to be excellent and good, while two out of ten consider nutrition services to be excellent and good (20%). In addition, more than one third (+30%) of the CESCO users reported some health problem that is attended to when they are sick or very sick in half of the cases (50%).

The research objectives of the previous project impeded to go deeper into these findings, so this continuity research seeks to know their causes

and the health needs of the users of CESCO and of the San Pedro de los Hernandez neighborhood.

This proposal seeks to deepen the dimension of community life, updating the findings and analyzing family health practices for the diagnosis of priority needs in the areas of mental health, nutrition, prevention and medical assistance. In summary, the research seeks to provide knowledge that will contribute to CESCO's mission: "To contribute to the integral formation of the university community and to promote the development of people and groups in situations of poverty, vulnerability and exclusion, through activities and projects that respond to social problems from an Ignatian perspective" (CESCO, 2022).

1. Introducción

Esta investigación se deriva de los hallazgos del proyecto Propuestas de acciones de mejora en las estrategias de atención del Centro Educativo de Servicios para la Comunidad (CESCO) para acompañar a la comunidad de San Pedro de los Hernández en el contexto del impacto del COVID-19, que se realizó en 2022 con el apoyo del Departamento de Ciencias Sociales y Humanidades y del Departamento de Investigación y Posgrado de la Universidad Iberoamericana León.

La percepción sobre los servicios ofrecidos por CESCO en materia de salud revela que la mitad (50 %) de las usuarias y los usuarios de los servicios psicológicos los consideran excelentes y buenos, mientras que dos de cada diez (20 %) los consideran excelentes y buenos en nutrición. A lo anterior, hay que agregar que más del 30 % de las y los usuarios del CESCO presentan algún problema de salud que amerita atención cuando se encuentran enfermos o muy enfermos en la mitad de los casos (50 %).

Los objetivos de investigación del proyecto anterior impidieron profundizar en estos hallazgos, por lo que esta investigación de continuidad

busca conocer sus causas y las necesidades en materia de salud de las usuarias y los usuarios del CESCO y de la colonia San Pedro de los Hernández.

Uno de estos hallazgos fue que la pandemia por COVID-19 tuvo serias consecuencias en la comunidad de San Pedro de los Hernández, como la pérdida de vidas humanas, fuentes de ingresos y deterioro en la ya precaria situación de la mayor parte de sus habitantes. En este sentido, una de las propuestas para el retorno presencial de actividades fue:

1. Elaborar un diagnóstico de necesidades pospandemia en San Pedro de los Hernández con metodologías participativas que permitan diseñar, ejecutar y evaluar las acciones y los programas con las y los destinatarios.
2. Consolidar la atención en materia educativa y de salud a través de una óptima organización de recursos materiales y humanos que permitan reducir los tiempos de espera.

Por lo tanto, se propuso para el 2023 realizar un diagnóstico de necesidades en materia de salud que permitiera fortalecer la atención que ofrece el CESCO a la comunidad de San Pedro de los Hernández, particularmente en los temas de nutrición y prevención de enfermedades.

En resumen, la investigación buscó aportar conocimiento para promover la misión del CESCO: «Contribuir a la formación integral de la comunidad universitaria y promover el desarrollo de personas y grupos en situación de pobreza, vulnerabilidad y exclusión, mediante actividades y proyectos que respondan a las problemáticas sociales desde una perspectiva ignaciana» (CESCO, 2022).

La promoción del desarrollo de personas y grupos en situación de pobreza, vulnerabilidad y exclusión exige poner atención en el acceso y goce del derecho a la salud, ya que nuestro bienestar físico y mental es

fundamental en el ejercicio de otros derechos, en otras palabras, la salud es la capacidad básica que permite el desarrollo humano y el bienestar social.

En consecuencia, el derecho a la salud se define como «un conjunto de criterios sociales que propicien la salud de todas las personas, entre ellos la disponibilidad de servicios de salud, condiciones de trabajo seguras, vivienda adecuada y alimentos nutritivos» (OMS, 2024).

2. Objetivos

El objetivo general fue elaborar un diagnóstico de necesidades en materia de salud de las usuarias y usuarios del Centro Educativo y Servicios para la Comunidad (CESCOM) y de la colonia San Pedro de los Hernández en León, Guanajuato. Entre los objetivos particulares se buscó:

1. Identificar las necesidades en materia de salud en las usuarias y los usuarios del CESCOM;
2. Compartir con el Departamento de Ciencias de la Salud los hallazgos de investigación para coordinar acciones en conjunto con el CESCOM en su eventual solución;
3. Presentar recomendaciones de política pública a nivel municipal para la atención de las necesidades documentadas.

3. Antecedentes y fundamento teórico

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, el «desarrollo» se definirá como un proceso de mejora, de transformación «para bien», y/o tener mayor «bienestar» que suponía una economía en constante crecimiento cuyo resultado sería una modernización, idea que eventualmente se interpretaría como occidentalización, y que sería duramente criticada en la década de

los cincuenta y sesenta. Así, el desarrollo empezó a incorporar dimensiones que trascendían lo económico y buscaban dejar atrás las consecuencias indeseables de los procesos modernizadores (Román, 2014, p. 9).

Desde entonces, el debate sobre el desarrollo ha incorporado un enfoque multidisciplinario y humanista a nivel internacional. Desde una visión predominantemente economicista, la discusión se enriqueció a través del tiempo al añadir elementos sociales, políticos, ambientales y culturales. La década de los años noventa del siglo pasado consolida un enfoque del desarrollo que integra la dimensión humana, la preocupación por lo ético, el mejoramiento de la calidad de vida y la expansión de las capacidades y opciones humanas (Preston, 1999; Maestre, 2008; Nussbaum, 2011; Román, 2014).

El nuevo debate sobre el desarrollo incorpora, junto a los indicadores económicos tradicionales, aspectos que tienen que ver con el desarrollo social, el desarrollo medioambiental, el acceso a la cultura, las libertades y la construcción de la ciudadanía. Desde esta perspectiva, los objetivos finales del desarrollo son la ampliación de las oportunidades reales de los seres humanos y el desenvolvimiento de sus potencialidades (Sen, 2000).

En estas discusiones, Schumacher resalta la necesidad de enfocarnos en el desarrollo a nivel local o comunitario que demanda el involucramiento de los agentes privados, de la sociedad civil organizada y del gobierno para la atención de los problemas locales desde una perspectiva multidisciplinaria.

Estos enfoques recuperan el protagonismo de las comunidades que apuestan por la organización horizontal y desde abajo, que reconoce la vida propia de los pueblos que durante muchos siglos han sabido vivir en sus territorios y han resistido al embate del colonialismo, patriarcado y racismo (Martínez, 2010; Covarrubias, 2011; Esteva, 2012).

En resumen, se debe transformar con urgencia el actual sistema económico, que ha explotado y agravado el patriarcado, el racismo y los

principios neoliberales. Este sistema ha impulsado la desigualdad extrema, la pobreza y la injusticia, y ha creado un mundo que no estaba en absoluto preparado para afrontar esta crisis (Oxfam, 2021, p. 10).

En esta transformación, el proyecto educativo común de la Compañía de Jesús en América Latina (SUJ, 2005, p. 12) tiene una alta responsabilidad, como se lee en su misión:

Colaborar con la misión evangelizadora de la Iglesia, ofreciendo una formación integral de calidad a niñas y niños, jóvenes, y adultos a la luz de una concepción cristiana de la persona humana y de la sociedad, a través de comunidades educativas que vivan la sociedad justa y solidaria que queremos construir, comprometiéndolas a participar significativamente en la definición de las políticas y prácticas de la educación pública tanto de la gestión estatal como privada en los diversos países de la región.

Por lo anterior, el CESCO en León resulta estratégico en la transformación social de la comunidad de San Pedro de los Hernández, pero también del municipio, aportando desde el ámbito educativo y del desarrollo comunitario. Por tanto, esta investigación busca conocer las necesidades de las y los usuarios sobre el trabajo del CESCO en materia de desarrollo comunitario (en materia de servicios de salud) en el contexto pospandemia COVID que permita ser un insumo en la toma de decisiones institucionales sobre el CESCO y la colonia San Pedro de los Hernández.

4. Metodología

El diseño de investigación es una estrategia mixta que integra una encuesta, dos grupos de discusión y cinco entrevistas semiestructuradas con personal directivo y operativo del CESCO.

4.1. Encuesta

La muestra para el levantamiento de las encuestas corresponde a la población total de hogares en las dos áreas estadísticamente básicas (AGEBs-Inegi) que integran la comunidad de San Pedro de los Hernández de 2826 viviendas. La definición toma un rango de error de 6 % y un nivel de confianza de 94 %, por consiguiente, la muestra determinada es de 226 viviendas habitadas, lo que la hace estadísticamente representativa.

$$N = 2826$$

$$p = 50 \%$$

$$q = 50 \%$$

$$e = 6 \%$$

$$z = 94 \% = 1.88$$

$$n = \frac{z^2 N p q}{e^2 (N-1) + z^2 p q} = \frac{(1.88)^2 2826 (.5) (.5)}{(0.06)^2 (2826-1) + (1.88)^2 (.5) (.5)} = 226$$

5. Resultados

Los hallazgos más relevantes de la encuesta en la comunidad fueron:

1. Los niveles de escolaridad son: 32 % primaria y secundaria; 22 % preparatoria; 11 % licenciatura y posgrado y 9 % sin estudios. A nivel posgrado, solo hay participación masculina, mientras que las mujeres son el doble de personas sin estudios.
2. El 48.5 % de las y los encuestados tienen como fuente principal de ingreso

un trabajo formal (por debajo de la media nacional [Inegi, 2020], que es de 60 % de la población económicamente activa), mientras que el 32 % trabaja por cuenta propia, y un 18 % es retirado (lo que sugiere un envejecimiento progresivo de la comunidad).

3. El 64 % de las familias son nucleares biparentales, y solo 9 % monoparentales; se encontró un 3 % de familias unipersonales, y la tendencia es de cuatro personas por hogar.

4. Existe una alta prevalencia de personas con discapacidad en estos hogares con un 25 % contra el promedio nacional que es 4.9 %, en otras palabras, una cuarta parte de los hogares encuestados presentan a alguna persona con discapacidad¹.

5. Menos de la mitad de las personas encuestadas han asistido alguna vez al CESCO (42 %) y, de estas, solo el 16% han utilizado algún servicio relacionado con la salud (psicología, nutrición y actividad física).

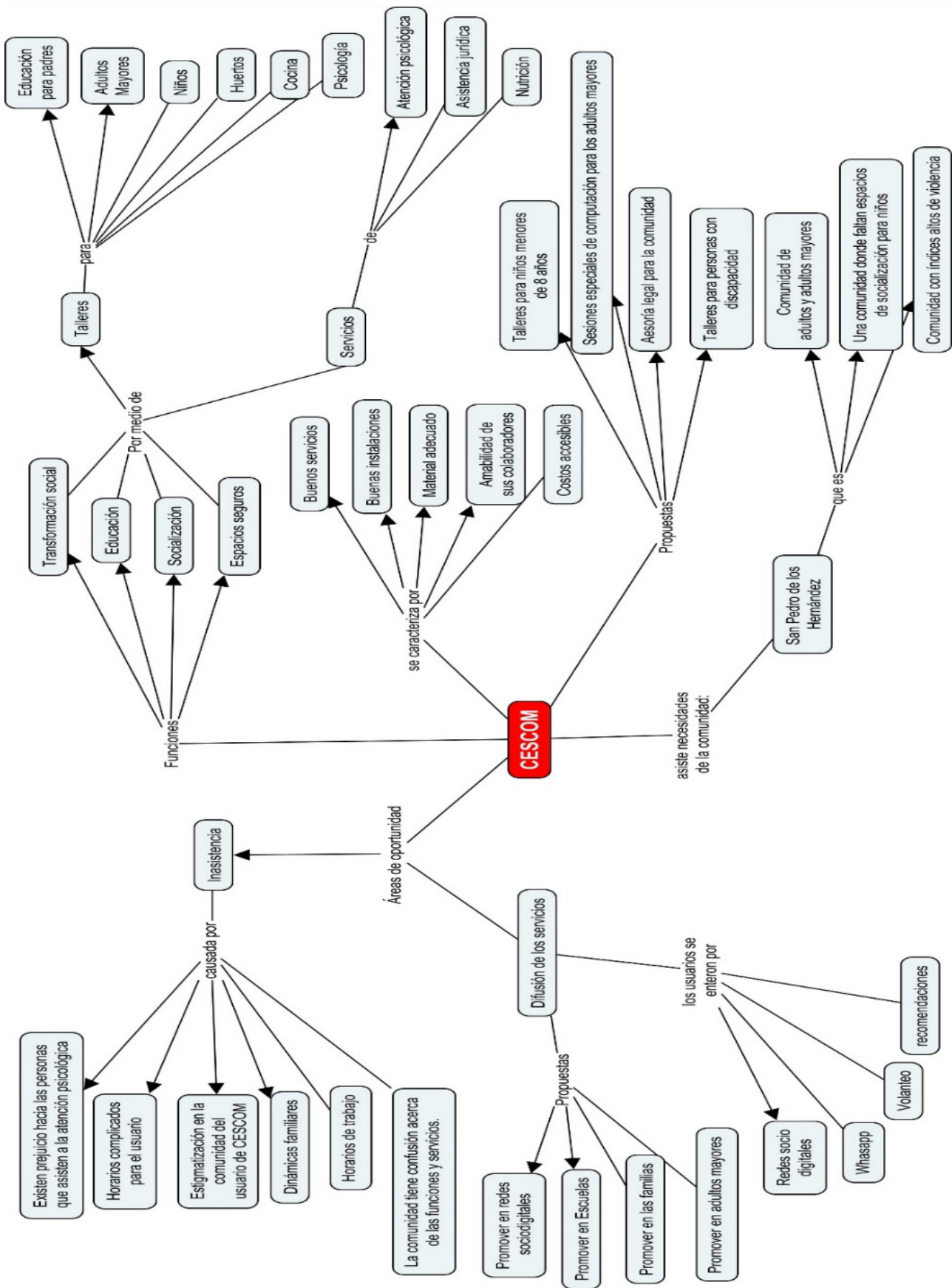
6. Los problemas de salud más importantes para la comunidad son: diabetes con 161 personas encuestadas, obesidad/ desnutrición, con 92, y presión alta o arterial, 87. También se hace mención de la falta de información suficiente para opciones saludables en alimentos con 43 personas. Otros problemas de la comunidad son la delincuencia, adicciones y cáncer.

7. Los factores para mejorar la comunidad, según las y los encuestados son dos (117 personas en ambos casos), y estos son: acceso a servicios de salud (como tener acceso a un doctor regular, seguro médico), y menos crimen/ comunidades más seguras.

5.1. Grupos de discusión

En la siguiente página se muestra el esquema multiarticulado de dos grupos de discusión:

¹ El Inegi (2020) identifica a las personas con discapacidad como aquellas que tienen dificultad para llevar a cabo actividades consideradas básicas como ver, escuchar, caminar, recordar o concentrarse, realizar su cuidado personal y comunicarse.



En este esquema destacan referencias a actividades para adultos mayores, el taller de cocina, las consultas de nutrición, ausencia de talleres para personas con discapacidad, el despacho jurídico, el tiempo de espera prolongado para las consultas a servicios de apoyo psicológico, así como el reconocimiento que estas necesidades superan la capacidad de atención y recursos del CESCO.

5.2. Entrevistas semiestructuradas

La investigación cerró con cuatro entrevistas al personal directivo y operativo del CESCO. De los hallazgos por tema consideramos los más relevantes que se observan a continuación:

a) CESCO

CESCO debe tener conciencia de sus límites y servir de vínculo para canalizar «ciertas» necesidades.
Una de las actividades que podrían incrementarse en CESCO es la mayor participación de la comunidad universitaria.
Las prácticas profesionales y el voluntariado requieren más impulso en la universidad.
Atención psicológica para los niños.
La atención de nutrición se dirige principalmente a adultos.

b) San Pedro de los Hernández (SPH)

Tiene mucha necesidad de salud mental.
Los adultos mayores tienen necesidades médicas importantes.
La violencia familiar o doméstica está normalizada en la comunidad.
Los cuidadores de menores en las familias son las abuelas habitualmente.
Se consume mucha comida chatarra.

c) Servicios educativos

Talleres de formación integral en saberes distintos a las tareas escolares.

d) Servicios en nutrición

El taller de nutrición promueve la buena alimentación adecuada al contexto de SPH.
--

Los adultos mayores se integran a nutrición y activación física, otros tantos, a atención psicológica.
--

e) Servicios en psicología

El área de psicología está desbordada de solicitudes.

Falta asistencia de hombres a talleres de prevención de violencia e igualdad de género.

CESCOM ofrece herramientas educativas preventivas para menores.

El acompañamiento individual es breve, de diez sesiones aproximadamente.
--

El trabajo de CESCOM no es suficiente, pues requiere acompañamiento familiar.

f) Problemáticas

Algunos marcos de necesidad de atención derivan de la violencia doméstica.
--

Ansiedad y depresión son comunes. Sin embargo, está asociada a un contexto familiar complejo.

Riesgo suicida por violencia escolar.

Deben buscarse soluciones a largo plazo, por lo que hay que integrar a la familia en el proceso de cambio.
Bulimia, obesidad y anorexia son algunas problemáticas correlacionadas a la salud mental.
Las mujeres jefas de hogar priorizan el bienestar de la familia sobre el de ellas.
Un padecimiento común que vincula la discapacidad es la diabetes.

g) Oportunidades

Satisfacer la demanda de servicios que requiere la comunidad; esto implica mayor personal.
Contar con un comedor para infancias.
Crear espacio para actividades deportivas.
Las áreas verdes serían óptimas para la actividad recreativa.
Acercar estudiantes de medicina al Cescom de manera interinstitucional.
Las licenciaturas en áreas de salud que oferta la universidad no son suficientes para cubrir las necesidades de SPH, por lo que se necesitan procesos interinstitucionales para cubrirlas.

h) Género

Amplia participación de mujeres adultas mayores.
La estructura familiar en SPH es de jefatura femenina.
La participación de los hombres es limitada en el CESCO.

Los resultados presentados son un insumo indispensable en la toma de decisiones para el Centro de Formación y Acción Social (responsable de la operación del CESCO y del Servicio Social), así como de las altas autoridades

de la institución, a fin de equilibrar los objetivos del CESCO para la Universidad Iberoamericana León y de las necesidades de la comunidad de San Pedro de los Hernández.

6. Discusión de los resultados

El polígono estudiado, comprendido por un bloque de seis sectores, fue finalizado para realizar una descripción demoscópica con jefes/as de hogar, con el objetivo de cuantificar la percepción y la autopercepción de este grupo, con las características metodológicas aplicadas. A nivel descriptivo, se pueden rescatar algunos datos importantes en la dimensión sociocultural, como se menciona a continuación.

6.1. Percepción de bienestar físico (salud)

Numéricamente, están dentro de la media nacional de los porcentajes de enfermedades como diabetes, obesidad e hipertensión arterial. Sin embargo, las tendencias son diabetes tipo 2 o resistencia insulínica, debido a las acciones de información de salud pública que cotidianamente se dan en el Centro de Salud de la localidad de acuerdo con los recorridos observados previamente en la zona.

En ese mismo sentido, al poner la obesidad en segundo lugar, refiere una autopercepción disonante respecto a los datos de talla y medida que dicho centro de salud tiene registrado en la zona desde hace dos décadas.

En conclusión, hay más obesidad que diabetes, aunque la percepción sea al revés. Por ello, es necesario trabajar el concepto de obesidad a través de estrategias de ejercicio en grupos, senderismo, caminatas guiadas, pilates, yoga, etc.

6.2. Percepción de bienestar social (comunitaria)

Las respuestas de los informantes sugieren una tendencia hacia un sentido comunitario fuerte o arraigado, reflejado en una autocrítica enfocada en los principales problemas que deben resolver, como pandillerismo, asalto a mano armada y extorsión, así como una carencia de seguridad pública generalizada con el resto de la ciudad.

El abuso de sustancias es un dato destacado en la percepción de la comunidad, principalmente en los últimos cinco años en grupos etarios de 15 a 30 años. La tendencia nacional son las drogas sintéticas, como las metanfetaminas.

Asimismo, el sentido de integración con el eje conductor de lo religioso y el Centro Comunitario (CESCOM) articula dinámicas de participación intermitente, esto como secuela del aislamiento pospandemia. Asimismo, la tendencia de la relación entre el CESCOM y el centro religioso es hacia la consolidación.

Respecto a los datos interpretativos, es destacable sobre los Grupos de Discusión, el reconocimiento del valor del Centro como un espacio seguro para la familia, en particular para los niños. Por este motivo, se deriva la petición de horarios de servicio para aprovechar el acompañamiento escolar y la sociabilidad. Se menciona como aspecto importante el fomento a la nutrición adecuada por medio del manejo de alimentos (gastronomía) y mediciones nutricionales. El cuidado de la salud mental en situaciones de violencia doméstica y manejo adecuado de la infancia es otro elemento reconocido por la comunidad usuaria.

Como área de oportunidad destaca la falta de difusión entre la población en general, principalmente en espacios educativos, ya que aún hay desconfianza y estigmatización a quienes asisten al Centro. Asimismo, la estrategia de comunicación de boca a boca o volanteo ocasional es limitada. Aunado a esto, existe la percepción de que CESCOM es un apéndice de la

Universidad Iberoamericana más que un Centro Comunitario y que, por lo tanto, es un espacio para estudiantes y no para habitantes de San Pedro de los Hernández.

Como resultado de las entrevistas, se infiere un alto nivel de compromiso por parte del CESCOM hacia la comunidad. Por este motivo, la mirada sobre el futuro del Centro va de la mano con un diagnóstico basado en la experiencia de más de 20 años de trabajo.

No obstante, el punto clave es definir o redefinir la misión estratégica del Centro para tener mayor comprensión de la comunidad sobre el mismo, ya que existen limitaciones estructurales, institucionales, coyunturales y operativas. En un futuro cercano, de acuerdo con dichos comentarios, podría ser un excelente centro gerontológico integral, no solo para San Pedro de los Hernández, sino para la ciudad.

Los resultados presentados son una herramienta clave tanto en la toma de decisiones para el Centro de Formación y Acción Social (responsable de la operación del CESCOM y del servicio social), como para las altas autoridades de la institución. De esta manera, se podrá equilibrar los objetivos del CESCOM para la Universidad Iberoamericana León como las necesidades de la comunidad de San Pedro de los Hernández. En otras palabras, definir los objetivos del CESCOM en relación con los recursos y capacidades que dispone la Universidad Iberoamericana León ayudará a vincularse e incidir socialmente en la comunidad de San Pedro de los Hernández.

7. Referencias

Centro de Servicios Educativos para la Comunidad. (2024). *Misión y visión*. CESCOM. <https://CESCOM.leon.uia.mx/>

Covarrubias, G. (Coord.). (2011). *Desarrollo cultural comunitario. Opciones para la cohesión social*. Conaculta.

- Esteva, G. (2012). *Repensar el mundo con Ivan Illich*. La casa del mago.
- González, et. al. (2022). *Investigación Interdisciplinaria. Enfoques, métodos, propuestas y experiencias*. Universidad de Talca.
- Hair, J. F., Bush, R. P. y Ortineau. D. J. (2010). *Investigación de Mercados*. México, McGraw Hill.
- Maestre, A., Casas, G. y González, J. (2008). *Nuevas rutas para el desarrollo en América Latina. Experiencias globales y locales*. Universidad Iberoamericana Ciudad de México.
- Martínez, J. (2010) Eso que llaman comunalidad. Culturas populares. CONACULTA/ Secretaría de Cultura, Gobierno de Oaxaca/ Fundación Alfredo Harp
- Nussbaum, M. (2011). *Creating Capabilities. The Human Development Approach*. Harvard University Press.
- Organización Mundial de la Salud. (2024). *Preguntas frecuentes*. <https://www.who.int/es/about/frequently-asked-questions>
- Oxfam. (2021). El virus de la desigualdad. Oxfam Internacional. <https://www.oxfam.org/es/informes/el-virus-de-la-desigualdad>
- Preston, P. W. (1999). *Una introducción a la teoría del desarrollo*. Siglo XXI editores.
- Román, A. (2014). *La sociedad capitalismo-capaz: una discusión en torno al desarrollo. Cuadernos de cooperación internacional y desarrollo*. Instituto de Investigaciones José María Luis Mora e IBERO.
- Schumacher, E. F. (2011). *Lo pequeño es hermoso*. Akal.
- SUJ. (2005). Proyecto educativo común de la Compañía de Jesús en América Latina. Brasil CPAL

8. Bibliografía

Covarrubias, K., Chávez, M. G. y Uribe, A. (2013). *Metodología de investigación en ciencias sociales. Aplicaciones prácticas*. Universidad de Colima.

Covarrubias, G., Delgado, E. y Arriola, G. (2022). *Propuestas de acciones de mejora en las estrategias de atención del CESCO para acompañar a la comunidad de San Pedro de los Hernández en el contexto del impacto del COVID 19*. Departamento de Investigación y Posgrado de la Universidad Iberoamericana León (inédito).

Ensanut. (2022). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición Continua 2022-Guanajuato*. Ensanut. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutgto2022/index.php>

González, J. (2019). *Arte y oficio de la investigación científica*. CIESPAL.

Sánchez, R. (2014). *Enseñar a investigar. Una didáctica nueva de la investigación en Ciencias Sociales y Humanidades*. IISUE-UNAM.

Sen, A. (2000). *Desarrollo y libertad*. Planeta.

Brecha de género en estudiantes universitarios de Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemáticas (STEM) en la UNED: hallazgos cuantitativos

Gender Gap in university students of Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics (STEM) at UNED: quantitative findings

Ariana Acón Matamoros 

Universidad La Salle, Bajío, Doctorado en Educación y Desarrollo Humano;
Universidad Estatal a Distancia (UNED), Ingeniería Informática

Correspondencia: aaconm@uned.ac.cr

 ORCID ID: 0000-0002-8828-8891

Resumen: La población para esta investigación fueron las estudiantes mujeres matriculadas en carreras STEM en el 1° cuatrimestre del 2023 en la Universidad Estatal a Distancia (UNED) de Costa Rica. Se utilizó un método cuantitativo para medir su percepción con un cuestionario en línea. Los principales hallazgos son datos superiores respecto a la autopercepción positiva y casi no se descubren elementos de estereotipos negativos. Las principales conclusiones, aparte de que sí existe una brecha de género en STEM en la universidad, son que no se logra determinar de manera concluyente que haya una percepción de estereotipos y autopercepción negativa, pero sí es concluyente que se sienten enojadas cuando reciben o escuchan comentarios de tipo «sexista», aun cuando en su mayoría permanecieron en silencio, lo que podría indicar la normalización y justificación hacia la violencia que existe en la mayoría de las sociedades, y especialmente las latinas.

Palabras clave: estereotipos; violencia de género; educación superior; subrepresentación de mujeres.

Abstract: The population studied for this research was female students enrolled in STEM courses in the first semester of 2023 at the Universidad Estatal a Distancia (UNED) in Costa Rica. A quantitative method was used to measure their perception using an online questionnaire. The main findings are that the data is slightly higher with respect to positive self-perception and almost no elements of negative stereotypes are discovered. The main conclusions apart from the fact that there is a gender gap in STEM at the university, is that it is not possible to conclusively determine that there is a perception of stereotypes and negative self-perception, but it is conclusive that they feel angry when they receive or hear comments of a “sexist” nature, even though they mostly remained silent, which could be indicative of the normalization and justification of violence that exists in most societies and especially Latin ones.

Keywords: stereotypes; gender violence; higher education; underrepresentation of women.

1. Introducción

La brecha de género es la diferencia entre un hombre y una mujer, con respecto a un mismo indicador o variable, así como la representación en distintos campos, incluida la educación superior (UNICEF, 2017; Eternod, 2018). Esto incide en la subrepresentación de las mujeres en STEM e influye negativamente en la selección de estas áreas en la universidad. También representa menor desarrollo socioeconómico (Arredondo *et al.*, 2019; Foro Económico Mundial, 2017; Oliveros, 2020).

Los fundamentos teóricos considerados y que dan estructura a esta investigación son: la teoría sobre brecha de género y «tubería que gotea», además de la metodología utilizada. Luego se presentan los resultados del análisis de la información y, por último, se detallan los hallazgos encontrados en esta parte cuantitativa. Además, se realiza una caracterización de las estudiantes que participaron.

2. Objetivos

Los objetivos de la investigación son los siguientes:

2.1.1. Objetivo general

Analizar las condiciones y el contexto de la brecha de género en las carreras STEM de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Estatal a Distancia, para el diseño de estrategias que apoyen su disminución y posible eliminación.

2.1.2. Objetivos específicos

- Describir el contexto de la brecha de género en STEM en la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.
- Analizar el contexto de la brecha de género en STEM, para contribuir a la disminución de la brecha de género.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

Una posible causa de la brecha de género en STEM y su incremento es la no selección de estas carreras. Algunos elementos que influyen en la elección de STEM, según Avendaño y Magaña (2018) son: «1) la familia y relaciones familiares; 2) género; 3) grupo étnico; 4) nivel socioeconómico; 5) intereses,

y 6) la autoeficacia del estudiante» (p. 154). Además, Sahin *et al.* (2015, citado en Avendaño y Magaña, 2018), los tres factores que más influyeron en el interés por las carreras STEM son: «maestros de ciencias (31.1 %), intereses personales (23.7 %) y padres (19.7 %)» (p. 159).

El Fondo de Población de las Naciones Unidas (2018) señala que las mujeres y niñas tienden más a ser analfabetas y pobres, en su mayoría por la carencia de educación. También, desde la primaria, existe el estereotipo de que los niños son mejores en matemáticas y las niñas en lectura (Cervini *et al.*, 2015), y esto podría ser un elemento que, combinado con la creencia de que las carreras de ciencias son difíciles, podría separar a las mujeres de profesiones STEM (Ganley *et al.*, 2018). En México, casi una tercera parte de los infantes cree que, si sus padres se desempeñan en STEM, ellos también deben hacerlo (Ganley *et al.*, 2018; Oliveros *et al.*, 2016, citando en la OCDE, 2015).

En Latinoamérica, casi un tercio de las mujeres no son independientes económicamente, según la ONU en su Observatorio de Igualdad de Género (2020), lo que las coloca en una posición de vulnerabilidad. El graduarse de una carrera STEM puede colaborar a solucionar lo anterior, por su mayor demanda laboral. A pesar de esto, el Instituto Nacional de las Mujeres (2017) señala que se prefiere un hombre sobre una mujer para laborar en una profesión STEM aun cuando tengan la misma formación académica.

Por otra parte, en un mismo puesto ellas reciben 14 % menos salario que los hombres, pero 33 % más que las mujeres que están en otros campos (Ikkatia *et al.*, 2020; Paz, 2019, citado en Rosales, 2020). Rosales (2020) ejemplifica que solo un 25 % de mujeres laboran en STEM en Bolivia.

Existen investigaciones que demuestran que las mujeres se sienten rechazadas, descontentas, discriminadas y perciben menos apoyo en STEM por señalamientos sobre sus capacidades. También observan un trato injusto y experiencias negativas cuando interactúan con otros académicos (Hai-

nes *et al.*, 2001; McLoughlin, 2005; y Murray *et al.*, 1999, citado en Radovic *et al.*, 2021).

Asimismo, que las mujeres abandonen las carreras STEM para transitar a otras como educación o salud es denominado «la tubería que gotea» (*pipeline leak* en inglés). Una de sus causas radica en el ambiente familiar, desde la niñez, que no apoya el desarrollo de las destrezas y creencias necesarias para graduarse de estas profesiones. Esto también se traslada a la educación científica (González-Palencia y Jiménez, 2016) y provoca que se agrande la brecha de género que contempla el bajo rendimiento académico, el estereotipo de que son carreras muy difíciles, con muchas matemáticas y que la subrepresentación de las mujeres se traslade a la parte laboral (Stearns *et al.*, 2020 y Weeden *et al.*, 2020).

Existen condiciones que favorecen la selección de carreras STEM por parte de las mujeres: cuando los pares seleccionan estas áreas, han obtenido logros previos en estos campos, tener padres o miembros de la familia que se desempeñan en informática (redes de apoyo). También, como lo señalan Long y Fox (1995, citado en Stearns *et al.*, 2020), los y las estudiantes con mejor desempeño en cursos de matemáticas y ciencias finalizan sus estudios en STEM, mientras que los otros transitan por la tubería hacia otros campos.

Es decir, que la destreza en matemática y ciencia influye en la selección de una carrera STEM, pero no es un factor al que por sí solo se le pueda atribuir por qué hay más hombres que mujeres en estos campos. Seymour y Hewitt (1997, citado en Cardador *et al.*, 2020) consideran que la razón por la cual las mujeres abandonan STEM es simplemente porque encuentran otros campos que les interesan o les agradan más. Sin embargo, la deserción por parte de mujeres en estas carreras (superior a la de los hombres) se observa además en distintas etapas de sus vidas, como la universitaria, laboral y profesional (Botella *et al.*, 2019).

4. Metodología (método, técnica e instrumentos)

Es un estudio mixto mediante la investigación-acción-participativa (IAP). Sin embargo, solo se exponen hallazgos cuantitativos obtenidos del cuestionario aplicado y definido como un «conjunto de preguntas respecto de una o más variables que se van a medir» (Hernández *et al.*, 2014, p. 217). Dicho cuestionario se aplicó a 9234 mujeres de las carreras STEM y midió la brecha de género en la UNED. Tiene 34 ítems, de los cuales 10 son preguntas abiertas y 24 son cerradas. Según el reactivo, se evaluaron los siguientes enunciados: conocimiento sobre condiciones UNED, acceso a políticas y acciones de divulgación sobre brecha de género con una escala de Likert con las respuestas: Muy en desacuerdo, En desacuerdo, Ni de acuerdo ni en desacuerdo, De acuerdo y Muy de acuerdo.

También se utilizó la escala de autopercepción con el alfa de Cronbach de 0.98 de fiabilidad: Pocas veces, Ninguna vez, A veces, Siempre, Casi siempre; la escala de estereotipos con un alfa de Cronbach de 0.97 de fiabilidad: Nada frecuente a Muy frecuente. Asimismo, se midió la correlación entre las escalas de estereotipos y percepción, la cual dio como resultado que existe una alta correlación de .770.

Para la muestra se usó un marco lista¹ (López, 1998). El tamaño de la muestra probabilista, con un 95 % de confianza y un 5 % de margen de error. La muestra requerida era de 369, y hubo respuesta de 716 estudiantes. Se realizó una validación del cuestionario con aspectos como claridad, validez, coherencia y pertinencia de los reactivos. Se utilizó el método Delphi, y participaron nueve expertas. Se agregaron y modificaron algunos reactivos según las sugerencias recibidas. Después se envió por correo electrónico la invitación al total de la población para participar. Esta comunicación contenía la explicación detallada y solicitaba el consentimiento para utilizar la información.

¹ Del SIATDGI (Sistema de Información de Apoyo para la Toma de Decisiones y la Gestión Institucional) se extrae el listado de todos los estudiantes matriculados en carreras STEM de la UNED para el 1° cuatrimestre 2023, pero solo se selecciona a la población femenina.

5. Resultados

En primer lugar, se realizó una caracterización de las estudiantes que participaron. La media de edad fue 28 (DT= 8.31); y el rango de 17 a 60. El lugar de residencia de la mayoría es San José² (n=189; 32.64 %), mientras que las que siguen son las que viven en Alajuela (n=129; 22.28 %), Puntarenas y Limón (n=66; 11.40 %). En Cartago, vive el 1.19 %, en Heredia, el 6.04 % y en Guanacaste, el 6.04 %. En su mayoría son solteras (n=381; 65.92 %), después las casadas (n=102; 17.64 %), en unión libre 10.38 %, divorciadas 4.33 % y las que prefieren no decir 1.73 %.

Con relación a la población estudiantil según la carrera que estudian, se detalla en la Tabla 1 la brecha de género en STEM.

Tabla 1. Número de estudiantes por carrera STEM, 2023.

Carrera	Femenino	%	Masculino	%	Total
Enseñanza de la Matemática	247	46	295	54	542
Enseñanza de las Ciencias Naturales	660	69	302	31	962
Diplomado Informática	1404	29	3425	71	4829
Ingeniería Agroindustrial	214	61	139	39	353
Ingeniería Agronómica	695	44	902	56	1597
Ingeniería en Telecomunicaciones	14	19	59	81	73
Ingeniería Industrial	83	47	95	53	178
Ingeniería Informática-administración proyectos	30	29	74	71	104
Ingeniería informática y calidad de software	25	50	25	50	50
Ingeniería Informática y Desarrollo Aplicaciones Web	10	14	63	86	73
Bachillerato Ingeniería informática	65	30	150	70	215
Licenciatura Ingeniería informática	6	26	17	74	23
Total general	3453		5546		8999

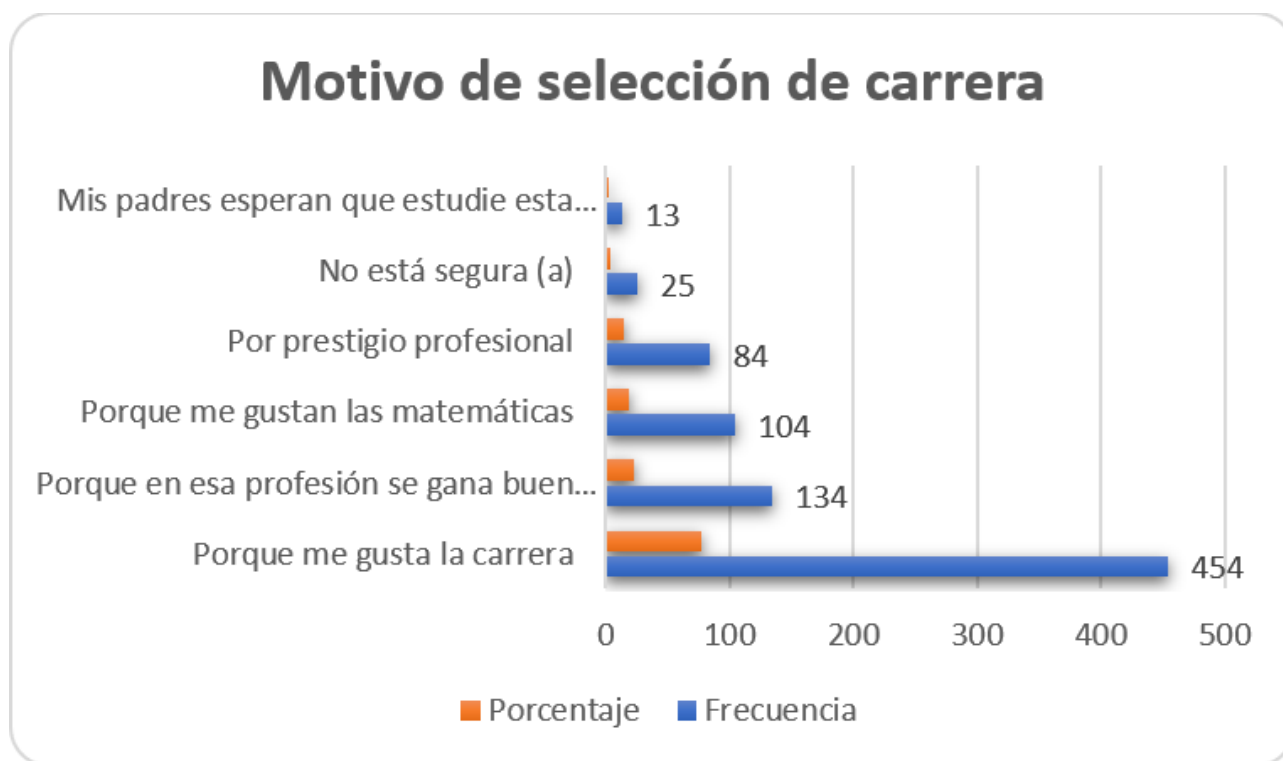
Nota: Datos tomados del SIATDGI, 2023.

² En Costa Rica, la división territorial se hace por provincias, cantones y distritos.

5.1. Análisis descriptivo de las variables

La mayoría de las participantes estaba en el rango de edad entre 17 y 27 años (54.29 % del total). A la pregunta de cuántos hijos tenían, las estudiantes contestaron en su mayoría: cero (n=370; 62.82 %), uno (n=99; 16.81 %), dos (n=84; 14.26 %), tres (n=25; 4.24 %), cuatro (n=8; 1.36 %) y cinco (n=3; 0.51 %). La carrera que estudian es su primera opción, lo que coincide con el rango de edad y la razón por la que la seleccionaron es porque les gusta. Ver Figura 1.

Figura 1. Motivo por el cual seleccionaron la carrera que estudian.



Nota: Elaboración propia con datos producidos en el cuestionario, 2023.

El promedio de años de ser estudiante es 3.34, con un mínimo de cuatro meses, un máximo de 23 y la desviación estándar es de 3.25. Esto significa que la mayoría que contestó el cuestionario son estudiantes que empezaron sus estudios en la crisis sanitaria del COVID-19 y, por lo tanto, solo han estado

en clases virtuales y a distancia³. Con relación a la pregunta de si ha estudiado o se ha graduado de otra carrera o especialidad diferente a la que está estudiando, la mayoría contestó que No (n=442; 75 %), y que Sí (n=145; 25 %) y, a su vez, consideran estudiar otra cuando terminen la actual, pero en un porcentaje apenas superior (n=297; 53 %) y No (n=264; 47 %).

Con relación a la financiación de los estudios, los resultados son los siguientes: beca UNED (n=322; 56 %); recursos propios (n=198; 35 %); ayuda de los padres (n=87; 15 %); ayuda de otro familiar (n=22; 4 %); obtuvo un préstamo (n=6; 1 %), y otra (n=26; 5 %). Predominan las participantes que no trabajan: No (n=345; 60 %), Sí (n=228; 40 %), y la mayoría que sí lo hace está en un área No-STEM: Sí (n=122; 24 %) y No (n=395; 76 %), por lo que consideran que no es fácil conseguir trabajo en esos campos: Sí (n=235; 44 %) y No (n=304; 56 %). De las 228 que sí laboran, solo 60 de ellas lo hacen en áreas relacionadas con STEM, lo que representa menos de la mitad. Con respecto a la tubería que gotea, esta no representa un riesgo, ya que consideran cambiarse de carrera 11 % y 89 % no.

5.2. Condiciones UNED

En cuanto a las condiciones de igualdad que brinda la UNED para los dos géneros contestaron: Muy en desacuerdo (n=34; 6 %); En desacuerdo (n=22; 4 %); Ni de acuerdo ni en desacuerdo (n=140; 26 %); De acuerdo (n=187; 34 %); Muy de acuerdo (n=161; 30 %). Es decir, la mayoría está De acuerdo y Muy de acuerdo en que hay igualdad de condiciones para hombres y mujeres en la universidad. Con relación a si en la UNED, el acceso a los recursos como becas, matrículas, tutorías, laboratorios, entre otros, es igual para los dos géneros, la respuesta que sobresale es Muy de acuerdo con (n=208; 38 %); De acuerdo con (n=187; 34 %); Ni de Acuerdo ni en Desacuerdo (n=100; 18 %); en Desacuerdo (n=23; 4 %) y Muy en Desacuerdo (n=26; 5 %).

³ Esto requeriría aplicación de pruebas escritas, tutorías y entrega de proyectos de manera presencial.

Con respecto a si en la UNED se establecen políticas y acciones para la disminución de la brecha de género, una gran mayoría se concentra en Ni de Acuerdo ni en Desacuerdo (n=208; 38 %), lo que refleja desconocimiento al respecto, mientras que De acuerdo (n=154; 28 %), Muy de acuerdo (n=104; 19 %), En desacuerdo (n=49; 9%), y Muy en desacuerdo (n=29; 5 %). Si se suma Ni de Acuerdo ni en Desacuerdo, En desacuerdo y Muy en desacuerdo, se obtiene un 52 %, lo que señala que hay que profundizar más en este aspecto para mejorar la divulgación de información enfocada a la disminución de la brecha de género.

Con respecto a la escala de autopercepción, la mayoría de las respuestas está en Ninguna vez, con excepción de que A veces ha sentido que no pertenece a la carrera con 33 % y 36 % Ninguna vez. Esto revela que su selección de carrera es adecuada y no sienten que no pertenecen ahí en su mayoría, o los estereotipos asociados no las afectan.

Con respecto a la escala de estereotipos, la mayoría de las preguntas se concentran en Nada frecuente, por ejemplo, las mujeres no son buenas en matemáticas. Algunas, sin embargo, son seguidas por Frecuentemente, es decir, no perciben realmente a las creencias asociadas con estas carreras como que las afecten directamente.

Otro aspecto a destacar es que se sintieron molestas (54 %) al recibir o escuchar comentarios «sexistas»: 13 % Indiferente; 19 % No sabe; 4 % Confundida; 3 % Con miedo. Sobre cómo reaccionaron, la mayoría contestó: Permanecer en silencio 31 %; 29 % Respondí de manera cordial o educada; 20 % A la defensiva; 2 % Agresiva; 20 % No sabe. Esto puede indicar la normalización respecto a las condiciones y el trabajo extra que conlleva estudiar una carrera STEM. A continuación, se describen los datos obtenidos en las escalas de autopercepción y estereotipos en la Tabla 2.

5.3. Autopercepción

En cuanto a los resultados de la escala de autopercepción, la mayoría de las estudiantes no reconocen situaciones desagradables, de acoso o violencia en la universidad a lo largo de su carrera. A la pregunta de si conocen los mecanismos para denunciar acoso u hostigamiento, la mayoría puntúa que No (n=263; 52 %), seguido de No está segura (n=126; 25 %).

Un hallazgo importante es que la mayoría no conoce los mecanismos para denunciar acoso u hostigamiento y pedir ayuda (n=263; 51.67 %); Sí (n=120; 23.58 %) y no está segura (n=126; 24.75 %).

Tabla 2. De los siguientes enunciados, marque el que considere que se asemeja más a su percepción.

Enunciado		Casi siempre	A veces	Pocas veces	Ninguna vez
		Porcentaje			
He sentido que no pertenezco a la carrera	3	5	33	23	36
Me he sentido menos que mis compañeras (os)	2	3	20	17	58
Me he sentido menos valorada que mis compañeros (as)	1	2	16	14	68
He sentido que mis compañeras (os) no me consideran igual	2	4	15	14	66
He sentido dificultad de ser parte o de integrarse en una asignatura o grupo de estudio, por mi condición de ser mujer	2	2	11	17	70
He sentido que mis compañeras (os) me ignoran en ocasiones	1	1	12	16	70

Me he sentido aislada por estar en la carrera que estoy	2	2	15	15	66
Me he sentido discriminada por estudiar la carrera en la que estoy	1	2	10	11	76
Me he sentido minimizada por las acciones de un(a) tutor(a) o compañero(a) de estudio al tratar de expresarme	1	2	10	16	71
He dejado de emitir opiniones o participar en grupo por miedo a la respuesta de los demás	4	4	17	16	60
He percibido que me han hecho bullying en la universidad por parte de compañeros(as) o tutores (as)	0	1	4	16	85
He sentido que me ridiculizan cuando presento alguna opinión o participación en actividades en grupo de una asignatura	0	1	5	11	83
He sentido acoso/hostigamiento en mis actividades como estudiante durante el desarrollo de mis estudios	1	1	4	8	86
Me cuesta compartir mis logros (premios, finalización de estudios, por ejemplo) con otras personas	6	5	26	14	49

Nota: Elaboración propia con datos producidos en el cuestionario, 2023.

5.4. Estereotipos

Con relación a los estereotipos, la mayoría contestó no haber enfrentado estereotipos negativos en un alto porcentaje, ya que la mayoría no llega o sobrepasa el 50 %, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. ¿Ha recibido o escuchado comentarios que se consideran como «sexistas» en el desarrollo de tus estudios? Por ejemplo:

Enunciado	Nada frecuente	Poco frecuente	Ni muy frecuente ni poco frecuente	Frecuentemente	Muy frecuentemente
	Porcentaje				
Las mujeres no son buenas en matemáticas	48.2	21.2	13	11.2	6.4
Las mujeres tienen más habilidad para nutrir y cuidar, por lo tanto, deben estudiar educación o enfermería	44.2	20	13.4	15	7.4
Las mujeres no son buenas para programar código para programas informáticos	45.6	20.6	13	13.2	7.6
Las mujeres mejor se quedan en la casa	43	19	8.8	16.6	12.6
Ese trabajo no es para mujeres	40.8	18.4	10.2	19	11.6
Los hombres son mejores para carreras de ingeniería o matemática	34	16.6	12.2	23	14.2
Si una mujer tiene un puesto de liderazgo en STEM, es probable que utilizó influencias para conseguirlo, como mantener relación amorosa o sexual con el superior	37.2	17.4	12.4	18.8	14.2
Las mujeres son muy emocionales e impredecibles para que puedan liderar en STEM	37.6	18.2	15.8	17	11.4

Las carreras STEM requieren mucho sacrificio, por lo tanto, no son opción para mujeres que desean tener una familia	38.8	14.6	15.8	18.4	12.4
Las carreras STEM no son para las mujeres	40.6	18.8	15	15.2	10.4

Nota: Elaboración propia con datos producidos en el cuestionario, 2023.

A pesar de que en la escala anterior sobre estereotipos, la mayoría contesta en un alto porcentaje Nada frecuente, esto no es consistente, pues la mayoría afirma haberse sentido: Molestas cuando escucharon o recibieron un comentario sexista (n=270; 54 %); Triste (n=21; 4 %); Indiferente (n=67; 13 %); Con miedo (n=16; 3 %), Confundida (n=32; 6 %) y No sabe (n=93; 19 %).

Aun cuando señalan haberse sentido molestas según lo anterior, la mayoría permaneció en Silencio cuando recibieron o escucharon comentarios de ese tipo (n=152; 31 %); Respondió de manera cordial o educada (n=142; 29 %); No sabe (n=97; 20 %); De manera defensiva (n=98; 20 %) y Respondió de manera agresiva (n=8; 2 %).

5.5. Discusión

La brecha de género en STEM está presente en la UNED de Costa Rica, y una de sus causas es la falta de inclusión de niñas en las TIC, lo cual afecta la no selección de estos campos en carreras universitarias (Arredondo *et al.*, 2019; Foro Económico Mundial, 2017).

Las estudiantes seleccionaron la carrera porque les gusta, lo que contradice a Avendaño y Magaña (2018) en relación a los factores que influyen a la hora de seleccionar STEM. Un 23 % seleccionó esta profesión porque se gana un buen salario. La opción «mis padres esperan que estudie esta carrera»

solo obtuvo un 2 %, contrario a lo que indican Sahin *et al.* (2015, citado en Avendaño y Magaña, 2018) con relación a que la influencia de los padres es el tercer factor para la elección de carreras STEM. Sin embargo, no se preguntó si sus padres laboran en STEM para corroborar lo que indica la OCDE (2015, citado en Oliveros *et al.*, 2016) y Ganley *et al.* (2018) sobre que la ocupación de los padres es decisiva para la selección de STEM.

No se evidencia un alto riesgo para el fenómeno de la tubería que gotea (Weeden *et al.*, 2020; Solanski, 2018; Palencia *et al.*, 2016), lo cual puede deberse a dos factores: uno, la edad (concentrada de 17 a 27) y el otro, el poco tiempo de ser estudiante UNED. Pero también las mujeres abandonan STEM simplemente porque les atraen más otros campos (Botella *et al.*, 2019; Seymour y Hewitt citados en Cardador *et al.*, 2020).

Radovic *et al.* (2021) indican que la tubería que gotea podría deberse a la exclusión de las mujeres en STEM, lo que se percibe y se mide en la escala de autopercepción. Esto porque cuando experimentan una autopercepción negativa, puede influir en el aumento de esa deserción (Radovic *et al.*, 2021 citado en Haines *et al.*, 2001; McLoughlin, 2005; y Murray *et al.*, 1999).

La mayoría tiene beca UNED y no trabaja, por lo que consideran que no es fácil colocarse en esos campos y las que sí lo hacen, en su mayoría, están en campos no-STEM como lo señalaron Raabe *et al.*, (2019) y Rosales (2020), lo que coincide con que un tercio de mujeres en Latinoamérica no tiene ingresos propios, y eso incluye a Costa Rica (Observatorio de Igualdad de Género de la ONU, 2020).

No hay autopercepción y los estereotipos están muy presentes, lo que no coincide con Rosales (2020) y Gómez (2019), que indican que los estereotipos culturales son factores determinantes en la brecha de género en STEM. También las mujeres tienen más habilidad para cuidar y nutrir, por lo que deberían estudiar campos relacionados con la educación o la salud (Raaba *et al.*, 2019; Weeden *et al.*, 2020).

Stearns *et al.* (2020) afirman que las mujeres algunas veces fracasan en reconocer su propia eficacia, y están menos inclinadas a STEM, lo cual no coincide con la escala de autopercepción en la que los resultados no son muy concluyentes, ya que respondieron no haber percibido esas condiciones negativas. Lo anterior es contrario a lo que indican Radovic *et al.* (2021) con relación a que los docentes y sus discursos de invisibilidad minimizan el género y constituyen más desafíos para las mujeres. También Moss-Racussin *et al.* (2018) indican que las mujeres podrían tener menos sentido de pertenencia y esto repercute en la participación en STEM.

Las estudiantes refieren que las condiciones que ofrece la comunidad universitaria para promover los mismos derechos y oportunidades para hombres y mujeres con respecto a carreras STEM son iguales para ambos géneros, lo que confirma la equidad de género.

6. Conclusiones

Las principales conclusiones a las que se llegan en este estudio son:

1. Existe una brecha de género en STEM en la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.
2. Las fiabilidades de las escalas cumplen requisitos psicométricos para medir estereotipos y actitudes negativas.
3. Hay normalización y justificación en la población del estudio.
4. Se deben socializar los resultados con las carreras participantes.
5. Se debe convertir este estudio en uno longitudinal.
6. Se debe realizar el mismo estudio en población de carreras de educación y salud.

7. Referencias

- Arredondo, F., *et al.* (2019). STEM y brecha de género en Latinoamérica. *Revista de El Colegio de San Luis*, 18(1), 137-158. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-899X2019000100137
- Avendaño, K. y Magaña, D. (2018). Elección de carreras universitarias en áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM): revisión de literatura. *Revista Interamericana de Educación de Adultos*. 40(2), 154-173. <https://www.redalyc.org/journal/4575/457556293008/html/>
- Botella, C., *et al.* (2019). Gender Diversity in STEM Disciplines: A Multiple Factor Problem. *Entropy*, 21(30), 1-17. <https://www.mdpi.com/1099-4300/21/1/30>
- Cardador, M., *et al.* (2020). Does More Mean Less? Interest Surplus and the Gender Gap in STEM Careers. *Journal of Career Assessment*, 29(1), 76-97. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1069072720930658>
- Cervini, R., *et al.* (2015). Género y rendimiento escolar en América Latina. Los datos del SERCE en Matemática y Lectura. *Revista Iberoamericana de Educación*, 68(1), 99-116. <https://rieoei.org/RIE/article/view/206>
- Eternod, M. (7 a 9 de agosto 2018). “Brechas de Género”. *Retos pendientes para garantizar el acceso a la salud sexual y reproductiva, y para cerrar las brechas de género*. [panel]. Tercera Reunión de la Conferencia Regional sobre Población y Desarrollo de América Latina y el Caribe. https://crpd.cepal.org/3/sites/crpd3/files/presentations/panel2_marcelaeternod.pdf
- Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). (2018). *Igualdad entre los Géneros*. <https://www.unfpa.org/es/igualdad-entre-los-g%C3%A9neros#readmore-expand>
- Foro Económico Mundial. (2017). *Education, Skills and Learning. What is the gender gap (and why is getting wider)?* <https://www.weforum.org/agenda/2017/11/the-gender-gap-actually-got-worse-in-2017/>

- Ganley, C., *et al.* (2018). Gender Equity in College Majors: Looking Beyond the STEM/ Non-STEM Dichotomy for Answers Regarding Female Participation. *American Educational Research Journal*, 55(3), 453-487. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0002831217740221>
- González-Palencia, R. y Jiménez, C. (2016). La brecha de género en la educación tecnológica. *Ensaio*. 24(92), 734-771. <https://www.redalyc.org/pdf/3995/399546421012.pdf>
- Instituto Nacional de las Mujeres, Igualdad de género. (2017). *Guía para el diagnóstico de brechas de género entre organización públicas y privadas*.
- Ikkatai, Y., *et al.* (2020). Effect of providing gender equality information on students' motivations to choose STEM. *PLoS ONE*, 16(6), 1-20. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0252710>
- Naciones Unidas. (2010). *Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer*. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2012/8338.pdf?file=fileadmin/Documentos/BDL/2012/8338>
- Observatorio de Igualdad del Género de América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas. ONU (2020). *Población sin ingresos propios*. <https://oig.cepal.org/es/indicadores/poblacion-sin-ingresos-propios-sexo>
- Oliveros, M., *et al.* (2016). La motivación de las mujeres por las carreras de ingeniería y tecnología. *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 4(9), 89-96. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457645340007>
- Oliveros, M. (2020). Panorama of teaching in higher education institutions under science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs. *Revista Científica*, 40(1), 2-12. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-22532021000100002
- Rosales, M. (2020). Relación entre la inclusión y el abandono de mujeres jóvenes en carreras y áreas STEM y TIC. *Fides Et Ratio*. 20,

141-166. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200009

- Radovic, D., *et al.* (2021). Entrar No es Suficiente: Discursos de Académicos y Estudiantes sobre Inclusión de Mujeres en Ingeniería en Chile. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 26(90), 3-21. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8073008>
- Raabe, I., *et al.* (2019). The Social Pipeline: How Friend Influence and Peer Exposure Widen the STEM Gender Gap. *American Sociological Association*, 92(2), 105-123. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0038040718824095>
- Solanki, S. y Xu, D. (2018). Looking Beyond Academic Performance: The Influence of Instructor Gender on Student Motivation in STEM Fields. *American Educational Research Journal*, 55(4), 801-835. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0002831218759034>
- Stearns, E., *et al.* (2020). Do Relative Advantages in STEM Grades Explain the Gender Gap in Selections of a STEM Major in College? A Multi-method Answer. *American Educational Research Journal*, 57(1), 218-257. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.3102/0002831219853533>
- UNICEF, El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2017). Glossary of Terms and Concepts. *Concept of Gender Equality*. <https://www.unicef.org/rosa/media/1761/file/Gender%20glossary%20of%20terms%20and%20concepts%20.pdf>
- Weeden, K., *et al.* (2020). Pipeline Dreams: Occupational Plans and Gender Differences in STEM Major Persistence and Completion. *American Sociological Association*, 93(4), 297-314. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0038040720928484>

La utilización del enfoque interseccional en el análisis de la violencia contra las mujeres: una revisión de la literatura

The use of the intersectional approach in the analysis of violence against women: a review of the literature

Verenice Baños Rebolledo

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades, Área Académica de Sociología y Demografía

Correspondencia: verenice_banos10349@uaeh.edu.mx

Resumen: El enfoque interseccional en el estudio de la violencia contra las mujeres representa una de las más grandes aportaciones de la teoría feminista al visibilizar y explicar los ejes de poder y/o discriminación del que pueden ser objeto. Mediante una revisión sistemática y crítica de diversas investigaciones sobre la metodología interseccional y una aplicación de los criterios de análisis sistemático de la literatura propuestos por Kitchenham y Charters (2007), se presentan estudios recientes que han incorporado este enfoque, de los cuales se muestran sus hallazgos y limitantes. Entre los principales resultados, destaca que la incorporación de este enfoque ha permitido identificar otros ejes opresores que pueden afectar a las víctimas de violencia; además, la interseccionalidad no sólo da nombre a las formas de opresión, sino que señala sus interconexiones. Bajo este paradigma se puede visibilizar lo que permanece oculto respecto a las categorías de identidad que se presentan en las mujeres víctimas de violencia. Sin embargo, se pre-

cisa la necesidad de contar con investigaciones que detallen los casos, en particular, de las intersecciones presentes en las víctimas, ya que sólo de esta manera se podrá comprender el problema real en su complejidad y profundidad.

Palabras clave: interseccionalidad; metodología; discriminación; exclusión; categorías; opresión; privilegio; feminismo.

Abstract: The intersectional approach in the study of violence against women represents one of the greatest contributions of feminist theory, by highlighting and explaining the axes of power and/or discrimination to which they may be subject. Through a systematic and critical review of various research on intersectional methodology and applying the criteria for systematic analysis of the literature proposed by Kitchenham and Charters (2007), recent studies that have incorporated this approach are presented, showing their findings and limitations. Among the main results, it stands out that the incorporation of this approach has made it possible to identify other oppressive axes that can affect victims of violence. Furthermore, intersectionality not only gives names to forms of oppression, but also points out their interconnections. Under this paradigm, what remains hidden can be made visible regarding the identity categories that occur in women victims of violence. However, there is a need to have investigations that detail the cases, particularly the intersections present in the victims, since only in this way can the real problem be understood in its complexity and depth.

Keywords: intersectionality; methodology; discrimination; exclusion; categories; oppression; privilege; feminism.

1. Introducción

El enfoque interseccional puede explicar los factores que confluyen en la violencia contra las mujeres. Su definición ha cambiado desde que fue introducido por vez primera en Estados Unidos por la abogada Kimberlé W. Crenshaw, quien denunció las múltiples discriminaciones que padecían las trabajadoras negras que fueron despedidas de la empresa General Motors. En un principio, el paradigma interseccional planteaba que las identidades sociales objeto de discriminación y exclusión estaban únicamente en función del género, la raza o la clase social; con el paso del tiempo, evolucionó hasta concluir que en la vida de las personas existen categorías que son multidimensionales. Las discriminaciones se generan por la intersección entre los sistemas de subordinación de género, etnia, orientación sexual, religión, condición de migrante o refugiada y situación económica. Esto además implica reconocer que en las víctimas hay un conjunto de hechos, acciones o estereotipos que las colocan en situaciones de mayor vulnerabilidad sobre otras (La Barbera, 2016; Peramato, 2019; Mas, 2022).

El presente trabajo recopila estudios teóricos cuya metodología usa el enfoque interseccional como herramienta de estudio e investigación sobre los casos de violencia contra las mujeres, el cual permite avanzar en la investigación, sanción y protección de dichos casos.

El objetivo consiste en la identificación y el análisis de factores que usan el enfoque interseccional en casos de violencia contra las mujeres para establecer sus limitantes, principales hallazgos y contribuciones.

Así, mediante una revisión sistemática y crítica de la literatura sobre la incorporación de la metodología interseccional en el análisis de la violencia contra las mujeres, y los principios de la metodología de revisión sistemática de literatura propuestos por Kitchenham y Charters (2007), es que se presentan los resultados.

2. Objetivos

Identificar y analizar los aspectos que se consideran en el enfoque interseccional en algunos de los casos de violencia contra las mujeres a fin de establecer sus limitantes, principales hallazgos y contribuciones.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

Díaz y Torrado (2018), en su tratado denominado *El género y sus interseccionalidades desde una perspectiva sociológica e histórico-crítica en las narrativas autobiográficas de Angelou, Lorde y Davis*, abordan el feminismo interseccional analizando las discriminaciones que por motivos de género, clase y raza se presentan en tres autobiografías. Emplean como metodología el estudio de casos de Maya Angelou, Angela Davis y Audre Lorde, luchadoras del feminismo negro que vivieron la discriminación en carne propia. La interseccionalidad implica el entendimiento de diferentes y variadas formas de opresión (exclusión, diferenciación, segregación, aislamiento, prohibiciones y privaciones), que padecen algunos grupos por causas estructurales; puede estudiarse a partir de la identificación y el estudio de las desigualdades a través de los modelos categóricos y los niveles de opresión.

Guzmán (2019), en su presentación *Hacia una metodología interseccional contra la violencia de género: estrategias para la acción y la intervención*, cuyo objetivo fue explicar la interseccionalidad y cómo la misma puede ayudar al planteamiento del análisis e intervención de la violencia de género, analiza a través del enfoque interseccional las conexiones entre las estructuras de género, la raza-etnia y la clase, y cómo su confluencia da como resultado la producción de desigualdades complejas.

Establece que la propuesta metodológica interseccional para el análisis de la violencia de género está centrada en tres ejes: primero, las categorías de identidad no son fijas, lo que significa que no existe como tal un «catálogo categórico», pues se deben examinar de manera crítica los elementos de

análisis relacionados con el problema social; las categorías no tienen grado de superioridad entre ellas. Segundo, las condiciones de identidad se entrelazan, solapan e intersectan, lo que implica reconocer que los ejes de la desigualdad se entretejen, conectan e interseccionan. En tercer lugar, destacan las voces de los márgenes y la invisibilidad desdibujada; aquí los grupos vulnerables no deben categorizarse sobre las desigualdades que se presentan en las víctimas porque incurrirían en una estratificación y, precisamente, esto es lo que la interseccionalidad debe evitar, ya que debe visibilizar los grupos y/o las experiencias individuales que generan desigualdades intersectadas. Esta metodología debe explorar, desde el análisis de las posiciones, a las víctimas de opresión y las que se encuentran en una «situación de privilegio».

Cortés (2020), en su investigación denominada *Género, interseccionalidad y el enfoque diferencial y especializado en la atención a víctimas*, parte del planteamiento jurídico de que a las víctimas de violencia se les debe brindar una atención distintiva y específica que contemple sus particularidades y nivel de vulnerabilidad. Gracias a los aportes de los estudios feministas, se cuenta con el enfoque de análisis de género y análisis interseccional. Así, la perspectiva de género hace evidente la desigualdad entre mujeres y hombres, y reconoce que existen relaciones de jerarquía y desigualdad que se traducen en diversas formas de violencia, injusticia, discriminación y subordinación contra las mujeres en el terreno social, político, económico y cultural. Respecto al análisis interseccional, este refiere un modelo analítico que visibiliza cómo la conjunción de las diferentes categorías sociales, unida a la de género, ocasiona prácticas de exclusión y discriminación que se manifiestan en expresiones de violencia, ya que solamente al reconocer las experiencias únicas y singulares se podrán establecer y diseñar medidas especiales de contención.

De igual manera, Echarri (2020), en su artículo *Interseccionalidad de las desigualdades de género en México. Un análisis para el seguimiento de los ODS* expone de manera detallada las situaciones de desigualdad que padecen las

mujeres en México, entre ellas destacan de manera conjunta la privación de sus derechos sobre la educación, la salud, los servicios y el trabajo, lo que deriva en múltiples formas de violencia. Para su investigación, el autor consideró los datos presentados en la Encuesta Intercensal 2015, la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2018 y la Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares 2016, con la intención de explicar cómo se cruzan distintas desigualdades en los grupos de mujeres, y en la que sugiere la creación de una metodología para explicar las discriminaciones que se dan en ellas. Sus hallazgos evidencian que la estratificación de clases, la desigualdad geográfica y la condición de habla indígena se mezclan y generan condiciones de desventaja en ocho de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el año 2030. Esto permite la identificación de sectores específicos del grupo de mujeres que requieren de atención especial.

En el marco de estudios que abordan las desigualdades, Juárez *et al.*, (2021), en su investigación *Diagnóstico interseccional de violencia hacia mujeres indígenas*, identifica los tipos y las modalidades de violencia más comunes en este grupo. Dicho diagnóstico se centró en dos entidades federativas de México: Hidalgo y San Luis Potosí y, a través de la incorporación de la metodología interseccional, emplearon un enfoque cualitativo de tipo exploratorio descriptivo, en el que se aplicaron entrevistas a mujeres y se empleó la observación participante. Los resultados arrojan que una combinación de variables como el bajo nivel de escolaridad, la ausencia de redes de apoyo, la unión o el matrimonio adolescente y la dependencia económica, pueden traducirse en violencia física, psicológica, sexual, económica, patrimonial u homicidio.

En las mujeres indígenas, convergen desigualdades y discriminaciones en el aspecto político, social, cultural y económico. No obstante, el enfoque interseccional permite comprender cómo la interrelación y el cruce de diferentes identidades impactan en situaciones de oportunidades y acceso a derechos. Los resultados permiten afirmar que las mujeres indígenas padecen

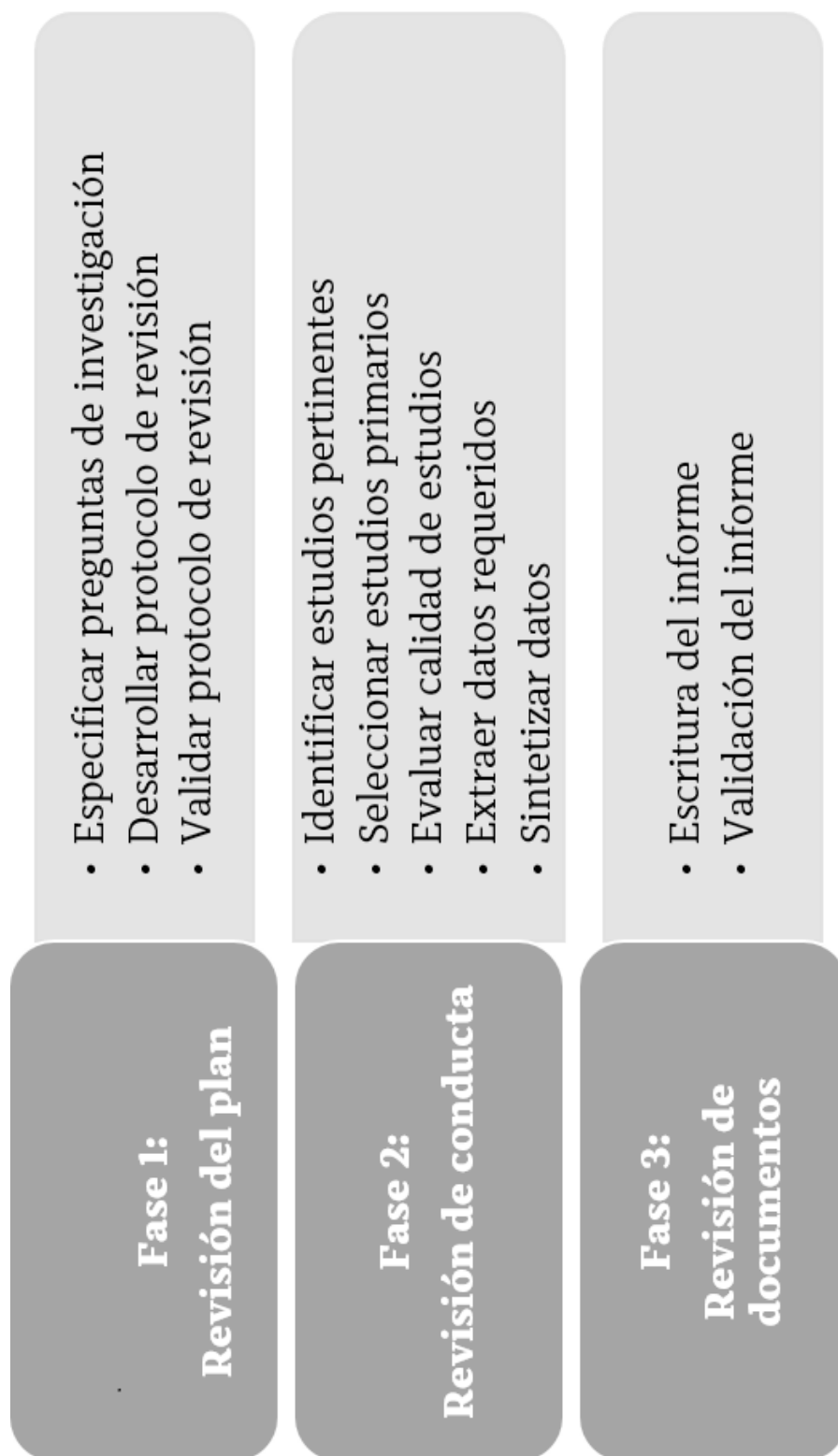
sistemas de opresión relacionados con la estructura, la religión, la política y el derecho; la interseccionalidad hizo evidente que las características de vulnerabilidad que padecen las mujeres las vuelven más propensas a ser víctimas de violencia homicida (Juárez *et al.*, 2021).

Mas (2022), en *Análisis evolutivo del enfoque interseccional: en la violencia contra la mujer*, menciona que el enfoque interseccional se ha utilizado conceptualmente como una herramienta para estudiar e investigar la violencia contra las mujeres. A través de una estrategia metodológica que consiste en la recolección de información en buscadores como Scopus, Scielo, Google y Google Académico para crear una base de datos y, luego, organizar, clasificar y sistematizar su información, llegó a la conclusión de que, aunque inicialmente el término interseccionalidad consideraba aspectos relacionados con la discriminación y marginación de las mujeres de color, posteriormente, se agregaron otras categorías de violencia que podían confluir en las víctimas. La incorporación del enfoque interseccional en los casos de violencia contra las mujeres permite una manera de investigar y sancionar estos hechos; los casos de violencia se generan no solo por «ser mujer», sino que además factores como la edad, nacionalidad, orientación sexual, condición de migrante/refugiada, condición social, color de piel, así como otros elementos pueden exponer o desencadenar situaciones de violencia y/o discriminación.

4. Metodología

Este estudio presenta una revisión de la literatura reciente en la incorporación del enfoque interseccional en el análisis de la violencia contra las mujeres, por lo que se consideraron los criterios que establecieron Kitchenham y Charters (2007) en la exploración sistemática de literatura, que consiste en los siguientes pasos, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de revisión sistemático de literatura.



Fuente: Elaboración propia a partir de Kitchenham y Charters (2007).

La pregunta que motiva esta investigación consiste en explicar: ¿Cómo se ha incorporado el enfoque interseccional en los estudios relacionados con la violencia contra las mujeres? Para ello se realizó una lectura detallada de los trabajos que contenían las palabras interseccionalidad, violencia y mujeres en buscadores como Google, Google Académico y Scielo, para posteriormente proceder a organizar, clasificar y sistematizar la información obtenida.

5. Resultados

La interseccionalidad se ha configurado desde distintos contextos. Primero, en Estados Unidos fue influenciado por el feminismo negro, mientras que en Europa por el pensamiento posmoderno, que definía las identidades como múltiples y fluidas con el objetivo de explicar la desigualdad social. La interseccionalidad es considerada como una parte de la teoría feminista (Bilge, 2009; Viveros, 2016).

Es así que, en el contexto latinoamericano, escritoras y artistas plantearon la intersección entre el racismo y el sexismo en distintas obras. Algunas más representativas en la literatura peruana son las denuncias de Matto de Turner (1899), quien en *Aves sin nido* escribió sobre los abusos sexuales de gobernadores y curas a mujeres indígenas, develando la vulnerabilidad étnico-racial y de género en este grupo. En Brasil, Tarsila Do Amaral, en una pintura de una mujer negra desnuda, quiso mostrar el lugar que las mujeres negras tenían en la sociedad, es decir, la opresión representada desde la conjunción de raza, género y clase (Viveros, 2016). Sin embargo, la interseccionalidad comenzó a ser nombrada en los espacios académicos a partir del año 2008; se relacionaba el concepto con la dificultad de explicar las relaciones entre género, raza y clase. De acuerdo con Dorlin (2009), las teorías acerca de la interseccionalidad se han tejido sobre dos ejes relacionados con la dominación: uno analítico y otro fenomenológica. Para el primer eje, se considera que la dominación está naturalmente relacionada con la clase, el

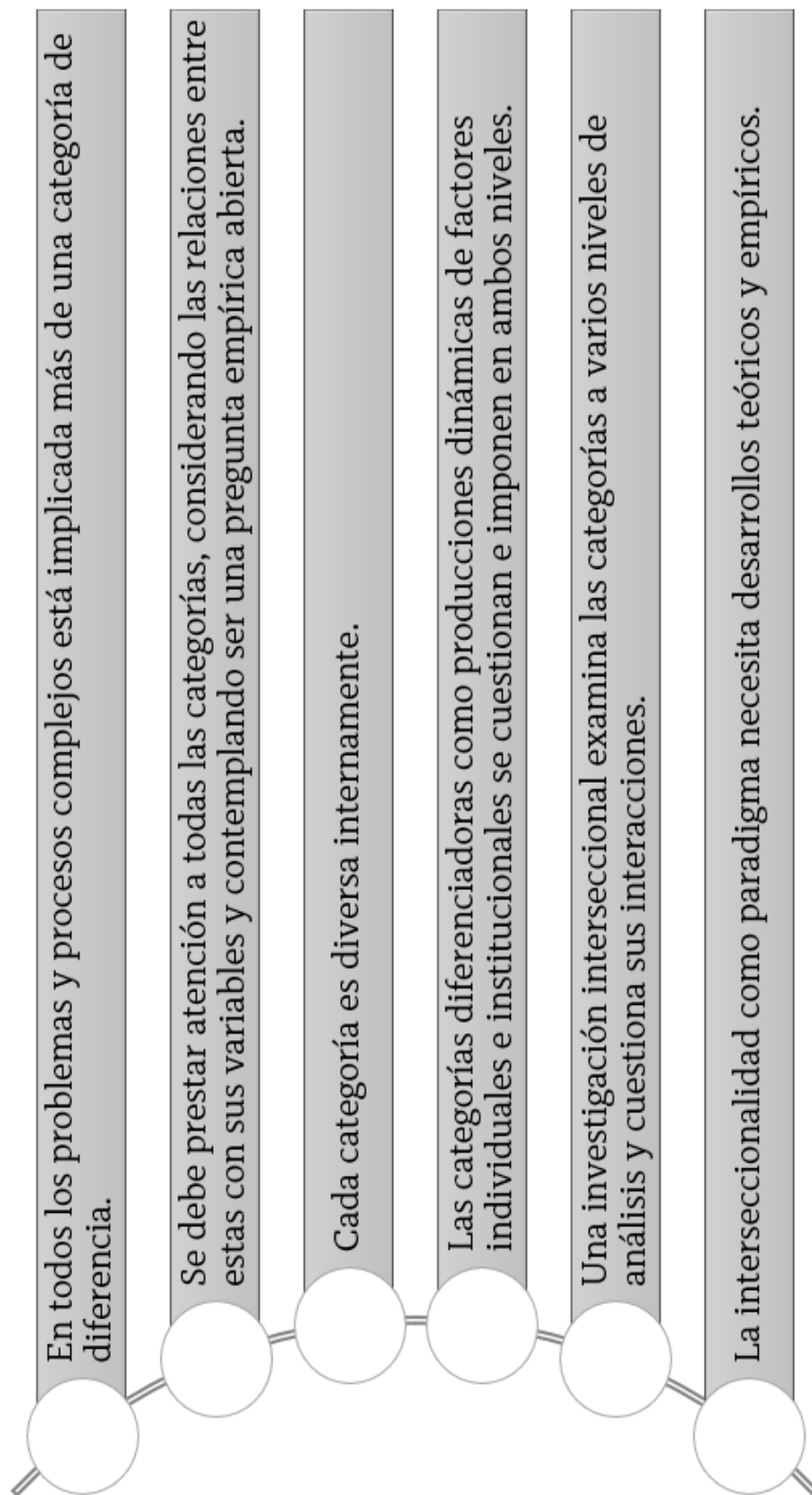
sexo y la raza; es interseccional porque el género no puede desagregarse de la raza y la clase; en el segundo eje, la interseccionalidad es concebida como la experiencia propia del sector, grupo o individuo dominado.

El término *interseccionalidad* surge de las teorías feministas como uno de los más grandes aportes conceptuales que se fueron dando a través de la historia. En Estados Unidos, la abogada Kimberlé W. Crenshaw habló de las múltiples discriminaciones que padecían las trabajadoras negras que fueron despedidas de la empresa General Motors; el enfoque de la interseccionalidad muestra que las discriminaciones se generan por la intersección entre los sistemas de subordinación de género, etnia, orientación sexual, religión, condición de migrante o refugiada y situación económica (La Barbera, 2016; Peramato, 2019).

Crenshaw (1989) creó un discurso en el que evidenció las distintas formas de opresión que experimentaban las mujeres negras, mismas que eran mayormente propensas a violencia y discriminación por motivos de raza y género. Estableció categorías jurídicas que hicieron frente a omisiones de este tipo y desigualdades específicas en el contexto norteamericano relacionado con el feminismo negro. Dicha metodología rompía con el esquema de considerar la raza y el género como condiciones separadas. Además, destacaba que la interseccionalidad debe incluir categorías como clase, orientación sexual, edad y color. La metodología consiste en nombrar las formas de opresión y señalar sus interconexiones. Bajo este enfoque se pretendía evidenciar que las mujeres de color eran invisibilizadas; sin embargo, al mostrar la intersección se visibilizaba la violencia.

Posteriormente, autoras como Collins (2000) y Hancock (2007) constituyeron la interseccionalidad como un paradigma. Esta última formalizó la propuesta que conjunta la teoría normativa y la investigación empírica, a través de seis proposiciones que hacen frente a los problemas relacionados con la justicia, el poder y el gobierno, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Presupuestos básicos del paradigma de la interseccionalidad.



Fuente: Elaboración propia a partir de Hancock (2007).

En el mismo sentido, McCall (2005) menciona que la interseccionalidad aborda las relaciones entre múltiples dimensiones y formas de relaciones sociales y formación de sujetos. Representa la mayor contribución teórica relacionada con los estudios sobre la mujer. Sin embargo, la forma en cómo se estudia es un tema poco discutido respecto a su metodología, por lo que la autora propone tres enfoques para entender y usar las categorías de análisis al abordar la interseccionalidad en la vida social. El primer enfoque es denominado «complejidad anticategoría» porque se basa en la descomposición de categorías analíticas, tanto de sujetos como de estructuras. El segundo, denominado «complejidad intracategoría», implica trabajar con grupos sociales, en particular, los que se encuentran en puntos de intersección descuidados, es decir, personas cuya identidad cruza los límites establecidos tradicionalmente para determinados grupos que se intersectan en puntos que no fueron considerados, lo que significa el descubrimiento de la experiencia vivida dentro de tales grupos. El tercero, llamado «complejidad intercategoría», consiste en la adopción provisional por parte de las y los investigadores de categorías de análisis existentes para probar las relaciones desiguales entre los grupos sociales, y la manera en que dichas configuraciones de desigualdad cambian a lo largo de múltiples y complejas dimensiones.

No obstante, es importante mencionar que no todos los estudios que incluyen la interseccionalidad en su metodología necesariamente tienen que encontrarse en alguno de los enfoques mencionados. De igual manera, alguna puede tener dos enfoques a la vez, esto depende de la postura del investigador/a en relación a la complejidad categórica. El enfoque interseccional muestra su efectividad en el desafío sobre la singularidad, la separación y la totalidad de una nutrida gama de categorías sociales (McCall, 2005).

Como señala Viveros (2016), la interseccionalidad en las investigaciones relacionadas con mujeres implica entender que en el análisis de las mismas no debe considerarse únicamente el sexo. Este enfoque representa un avance significativo y una importante contribución a los estudios centrados

en las mujeres, ya que ellas tienen identidades múltiples, lo cual elimina el modelo hegemónico de «la mujer universal». Esto permite entender las experiencias que se dan en las mujeres pobres y racializadas en escenarios de dominación desde todos los tiempos.

El entendimiento y la forma de ver la interseccionalidad son diferentes en cada contexto geográfico. Para algunas feministas latinoamericanas, este concepto no es novedoso, dado que las diversas situaciones y formas de opresión que viven las mujeres en esta región son muy distintas de lo que se plantea, por ejemplo, en el contexto norteamericano. En este último, los ejes centrales de la interseccionalidad son el género, la raza y clase y las investigaciones en torno a ella están más centradas en la intersección entre raza y género, dejando de lado la clase porque se asume que en ese país se vive en una sociedad sin clases, al especificar que todos los individuos gozan de las mismas oportunidades, por lo que la desigualdad se relaciona más con las diferencias individuales (Wade, 2009; Viveros, 2016).

Derivado de lo anterior y, como una crítica importante a la interseccionalidad y la forma en la que se conceptualiza la intersección de opresiones, Lugones (2005) analizó detalladamente los planteamientos de Kimberlé Crenshaw y Audre Lorde, identificándolos como opuestos. Respecto a la segunda autora, propone que la interseccionalidad sea vista como una fusión de posibilidades de resistir las múltiples opresiones por medio de la creación de círculos que se opongan al poder desde dentro en todos los niveles e identidades.

Lugones (2008) refiere que la interseccionalidad visibiliza lo oculto que implica separar las categorías de raza y género. En su postura como feminista de color, manifiesta que, al igual que otras feministas, centra su interés en revelar la intersección de raza y género. Sin embargo, menciona que al dividirlos categóricamente se modifican los seres y fenómenos sociales que resultan de la intersección. Por ejemplo, entre la categoría mujer y negro, existe un vacío porque se excluye la primera. La interseccionalidad

revela los faltantes, y es entonces que se debe replantear la lógica de la intersección para remediar la separación de las categorías establecidas, porque solamente cuando se incluyan los términos género y raza se podrá visibilizar a las mujeres de color¹. De lo contrario, sin la fusión de estas categorías, hay un sentido racista que solamente incluiría a las mujeres que han sido privilegiadas, como las burguesas blancas y heterosexuales, lo que significa mantener oculta la discriminación, la brutalización, el abuso y la deshumanización.

La interseccionalidad muestra cómo algunas mujeres se encuentran en situación de privilegio sobre otras que padecen discriminación, por lo que, para entender la violencia de género en contextos particulares, es necesario considerar el cruce de identidades como raza, clase, religión, orientación sexual, ubicación geográfica y etnia; además de cómo el resultado de estas intersecciones desencadena formas específicas de violencia (Aparicio, 2019).

El paradigma interseccional, como refiere Atewologun (2018), implica una forma de análisis acerca de las relaciones que existen entre las categorías y los sistemas sociales. Y es importante para los investigadores sociales a fin de que cuenten con una herramienta que otorgue mejores elementos explicativos acerca de los fenómenos sociales que presentan complejidad sobre todo en las problemáticas relacionadas con las mujeres. Con este enfoque, se pueden ver las conexiones entre diferentes categorías como condición étnica, orientación sexual, clase social y cualquier elemento que otorgue identidad, las cuales en conjunto tienen consecuencias estructurales y dinámicas que resultan en discriminación, subordinación, racismo, desventajas económicas y violencia.

¹ El término «mujeres de color» fue acuñado en Estados Unidos para nombrar a las mujeres subordinadas y víctimas de múltiples opresiones. Significa la conjunción de mujeres indígenas, mestizas, mulatas, negras, cherokees, puertorriqueñas, sioux, chicanas, mexicanas, es decir, todas aquellas que entran en el padecimiento de la colonialidad de género (Lugones, 2008).

6. Conclusiones

La metodología interseccional representa un avance en la manera de estudiar e indagar en relación a las investigaciones centradas en las diversas formas en las que ocurren la discriminación y violencia contra las mujeres. Implica contar con un enfoque que pretende explicar de manera precisa las diferentes maneras en las que se pueden mostrar sistemas opresores en la vida de las víctimas que, en su conjunto, presentan formas únicas y diferenciadas que solamente pueden verse a través de la interseccionalidad.

Sobre el enfoque interseccional, en un principio Crenshaw explicaba las relaciones de discriminación y exclusión desde la intersección de los ejes de poder generados a partir de la raza/etnia, el sexo y la clase social. Sin embargo, los avances en las teorías permitieron entender que existen otros ejes opresores interseccionales, entre ellos: religión, edad, nacionalidad, condición de migrante/refugiada, orientación sexual, entre otros.

La interseccionalidad permite tener una visión crítica, la cual reconoce que categorías como la clase social, el género, la etnia, la nacionalidad o la condición de migrante/refugiada no deben ser vistas de manera unitaria, pues estas identidades actúan de manera conjunta y simultánea, recreando situaciones particulares de violencia y opresión, que al interrelacionarse, pueden generar una doble o múltiple discriminación, traducidas en injusticia social (Salgado, 2022).

Los estudios analizados dejan ver que la metodología interseccional visibiliza las categorías de dominación y discriminación en las que se pueden encontrar las mujeres, y desencadenarse en situaciones de violencia. Además, expone cómo es que ciertas identidades representan, para algunas, situaciones de privilegio, mientras que para otras, son sistemas de opresión. En los estudios queda clara la consigna de continuar con la incorporación de este enfoque.

Sin embargo, los alcances de la metodología interseccional y su inclusión en casos de discriminación, desigualdad y violencia siguen planteando interrogantes y dejando explicaciones insatisfactorias, pero ciertamente gracias a los aportes de este enfoque se ha dado visibilidad a las voces que se mantenían silenciadas. También se discuten con mayor seriedad los mecanismos de acción en aras de prevenir el fenómeno de la violencia desde los distintos actores sociales. Por ello, se requieren estudios que muestren los casos particularmente de las intersecciones que se han presentado en las víctimas, solo así se podrá comprender el problema real en su complejidad y profundidad.

7. Referencias

- Aparicio, R. (2019). Factores asociados a la violencia de género contra mujeres indígenas en México: un análisis desde el enfoque interseccional. *Sociedades y desigualdades*, 8, 76-91.
- Atewologun, D. (2018). *Intersectionality Theory and Practice*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.48>
- Bilge, S. (2009). Théorisations féministes de l'intersectionnalité. *Diogenes*, 225, 70-88.
- Collins, P. H. (2000). *Black Feminist Thought: Knowledge, Consciousness and the Politics of Empowerment*. Nueva York: Routledge.
- Cortés, J. (2020). Género, interseccionalidad y el enfoque diferencial y especializado en la atención a víctimas. *Revista Digital Universitaria*, 21(4), 1-9. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.1607609e.2020.21.4.8>
- Crenshaw, K. (1989). Demarginalizing the Intersection of Race and Sex: A Black Feminist Critique of Antidiscrimination Doctrine, Feminist Theory and Antiracist Politics. *University of Chicago Legal Forum*, 1989, 8. <http://chicagounbound.uchicago.edu/uclf/vol1989/iss1/8>

- Díaz, L. y Torrado, E. (2018). El género y sus interseccionalidades desde una perspectiva sociológica e histórico-crítica en las narrativas autobiográficas de Angelou, Lorde y Davis. *Investigaciones Feministas*, 9(2), 291-307.
- Dorlin, E. (2009). Introduction: Vers une épistémologie des résistances. En E. Dorlin (Ed.), *Sexe, race, classe, pour une épistémologie de la domination*. 5-20. París: PUF
- Echarri, C. (2020). Intersección de las desigualdades de Género en México. Un análisis para el seguimiento de los ODS. *Consejo Nacional de Población*, 1-46.
- Guzmán, R. (2019). Hacia una metodología interseccional contra la violencia de género: estrategias para la acción y la prevención. Red de Centros y Servicios para Mujeres. Universidad de Salamanca. *Intress*.
- Hancock, A. M. (2007). Intersectionality as a normative and empirical paradigm. *Politics and Gender*, 3(2), 248-254.
- Juárez et al. (2021). Diagnóstico interseccional de violencia hacia mujeres indígenas. *Revista Estudios Feministas, Florianópolis*, 29(1), 1-11.
- Kitchenham, B. y Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Version 2.3 (EBSE-2007-01)*. School of Computer Science and Mathematics, Keele University. <https://goo.gl/L1VHcw>
- La Barbera, M. (2016). Interseccionalidad, un “concepto viajero”: orígenes, desarrollo e implementación en la Unión Europea. *Interdisciplina*, 4(8), 105-122.
- Lugones, M. (2005). Multiculturalismo radical y feminismos de mujeres de color. *RIFP*, 25, 61-75.
- Lugones, M. (2008). Colonialidad y género. *Tabula Rasa*, 9, 73-101. <https://>

www.revistatabularasa.org/numero-9/05lugones.pdf.

- Mas, J. (2022). Análisis evolutivo del enfoque de interseccionalidad: en la violencia contra la mujer. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 758-772, <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.145>
- McCall, L. (2005). The Complexity of Intersectionality. *Signs*. 30(3), 1771-1800. <https://www.jstor.org/stable/10.1086/426800>
- Peramato, T. (2019). Retos actuales para la erradicación de la desigualdad y la violencia de género. *Dialnet*, 323-339.
- Salgado, P. (2022). Derechos humanos de las mujeres desde la interseccionalidad (primera parte). *Medioteca IEEM*. <https://medioteca.ieem.org.mx/es/prensa/espacio-de-colaboraciones-y-opiniones/item/1318-derechos-humanos-de-las-mujeres-desde-la-interseccionalidad-primera-parte>
- Viveros, M. (2016). La interseccionalidad: una aproximación situada a la dominación. *Debate feminista* (52). 10.1016/j.df.2016.09.005
- Wade, P. (2009). *Race and Sex in Latin America*. Londres: Pluto Press.

8. Bibliografía

- Josephson, J. (2002). The intersectionality of domestic violence and welfare in the lives of poor women. *Journal of Poverty*, 6(1), 1-20.

Área
Arte,
arquitectura
y espacio

Divergencia entre el crecimiento urbano y el desarrollo industrial de Altamira, Tamaulipas: una problemática crítica

Divergence between urban growth and industrial development of Altamira, Tamaulipas: a critical problem

María del Carmen Anaya Zamora¹ / Diana Celia Echartea Cuevas²

¹Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Departamento de Ciencias de la Tierra

²Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Departamento de Eléctrica-Electrónica

Correspondencia: maria.az@cdmadero.tecnm.mx

Resumen: El Corredor Industrial de Altamira, Tamaulipas, ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, convirtiéndose en un eje económico crucial para la región y el país. Sin embargo, este desarrollo no ha sido acompañado por un crecimiento urbano acorde, lo que ha generado una serie de problemas que afectan tanto la calidad de vida de los habitantes como la sostenibilidad del desarrollo industrial. Este artículo analiza las causas de esta discrepancia, sus consecuencias y propone soluciones para lograr un crecimiento equilibrado.

Abstract: The Industrial Corridor of Altamira, Tamaulipas, has experienced significant growth in recent decades, becoming a crucial economic hub for the region and the country. However, this development has not been accompanied by corresponding urban growth, which has generated a series of problems that affect both the quality of life of the inhabitants and the sustainability of industrial development. This article analyzes the causes of this discrepancy, its consequences and proposes solutions to achieve balanced growth.

1. Introducción

Altamira, Tamaulipas, alberga uno de los corredores industriales más importantes de México, con una fuerte presencia de industrias petroquímicas, manufactureras y logísticas. El puerto industrial de Altamira es uno de los más grandes del país y un punto estratégico para el comercio internacional. Sin embargo, a pesar de este crecimiento industrial, esta ciudad no ha desarrollado una infraestructura urbana que satisfaga las necesidades de sus habitantes y trabajadores del Corredor Industrial. Este artículo explora las razones detrás de esta divergencia y sus implicaciones.

2. Objetivos

Crear un análisis del estado actual del municipio de Altamira que permita o nos ayude a regenerar su centro urbano, tomando en cuenta sus características urbanas.

3. Antecedentes y fundamento teórico

La problemática de la urbanización en Altamira es el resultado de un crecimiento acelerado y desordenado, influenciado por el desarrollo económico,

la falta de planificación urbana adecuada y los desafíos geográficos y climáticos. Estos antecedentes subrayan la necesidad de implementar soluciones innovadoras y colaborativas para gestionar el crecimiento urbano de manera sostenible y resiliente, preservando al mismo tiempo el patrimonio cultural y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

4. Metodología

Este estudio utiliza un enfoque cualitativo y cuantitativo. Se recopilieron datos de fuentes gubernamentales, entrevistas con líderes comunitarios y expertos en urbanismo, así como encuestas a residentes de Altamira. A continuación, mostraremos las entrevistas recopiladas.

4.1. Entrevista sobre el plan maestro

El Arq. Francisco Martínez Zárate, quien fungió como Director de Desarrollo Urbano en el año 2021, nos compartió información acerca del desarrollo urbano y los planes actuales y futuros de la ciudad que están establecidos en el Plan Maestro, proyecto que fue elaborado en el año 2000.

Contiene los usos correspondientes que se van a instalar; también se manejan por Unidades de Gestión Ambiental (UGA), las cuales ayudan a un ordenamiento territorial, que involucra la sustentabilidad. Al mismo tiempo, ordena los sistemas naturales con los que cuenta una ciudad, y con esto se logra obtener una calidad de vida para los habitantes. En mis funciones como director, me percaté de que, aunque el Plan no se había actualizado, el plan de urbanismo de los tres municipios sí ha sido revisado (comunicación personal, 17 de julio, 2024).

Desde hace seis años, cuando empezó el Gobierno de Andrés Manuel López Obrador, la mayor parte de los recursos se han destinado al sureste del país; por lo tanto, hay un compás de espera para las inversiones en esta región.

En cuanto a la vialidad, las empresas del Puerto de Altamira tienen la obligación de mantener sus accesos. En el año 2000, se realizaron el Plan de desarrollo y el Plan de usos de suelo, donde se ubicaron las empresas. Además, se construyeron importantes vialidades como el Boulevard Luis Donaldo Colosio y el Boulevard Primex, que conecta el puerto con las avenidas existentes para agilizar el flujo vehicular. Actualmente, Altamira cuenta con un plan de desarrollo urbano, pero no se ha respetado completamente y, por consecuencia, esto no ayuda al ordenamiento de la ciudad.

Respecto a la mano de obra y población, el Arq. Martínez Zárte explicó que Altamira —que tiene ocho zonas urbanas y dos rurales, y un territorio de 1600 km², de los cuales 200 km² son lagunas— tiene la mejor mano de obra en construcción. Sin embargo, la mayoría de las personas que trabajan en el Corredor Industrial provienen de Monterrey.

Altamira cuenta con una población de 300 000 habitantes. Sin embargo, hay un número significativo de habitantes flotantes, lo que eleva la cifra a cerca de 450 000 personas. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (Inegi), Altamira tiene 298 000 habitantes, pero hay aproximadamente 200 000 habitantes flotantes. El corredor industrial y el puerto industrial albergan 152 empresas comerciales, industriales y de servicios (comunicación personal, 17 de julio, 2024).

4.2. Inversiones del gobierno actual

Por otra parte, el Arq. Martínez Zárte agrega que el Gobierno federal apuesta por los proyectos ubicados en el sur del País, como el Tren Maya, el Co-

redor Intercostal del Golfo al Pacífico (que pasará por Oaxaca). No obstante, «el norte del país no está siendo tomado en cuenta como se esperaba. Esta información refleja la situación actual y las perspectivas futuras para el desarrollo urbano y económico de Altamira, así como los desafíos y oportunidades que enfrenta la región» (comunicación personal, 17 de julio, 2024).

4.3. Falta de oportunidades laborales y de infraestructura

El Sr. Hermelindo García López, presidente de colonos en Altamira, destaca la falta de oportunidades laborales y de infraestructura urbana como los problemas críticos que enfrentan los residentes de la ciudad. Además, insiste en que es necesario más apoyo gubernamental para el desarrollo del Puerto Industrial y la mejora de las vialidades en la región.

La baja oferta de trabajo para los residentes de la ciudad causa que salgan a buscar el sustento a otras ciudades, ya que las mismas empresas traen sus propios trabajadores de fuera, mayormente de Monterrey. Las vialidades son escasas, ya que hay mucho auge de empresas en el Corredor Industrial. No hay apoyo del Gobierno para el Puerto Industrial (comunicación personal, 27 de julio, 2024).

4.4. Encuestas a residentes

La encuesta consistió en cinco preguntas puntuales, con cinco respuestas múltiples.

Encuesta sobre la problemática de la falta de crecimiento urbano en Altamira

Respuestas: 19

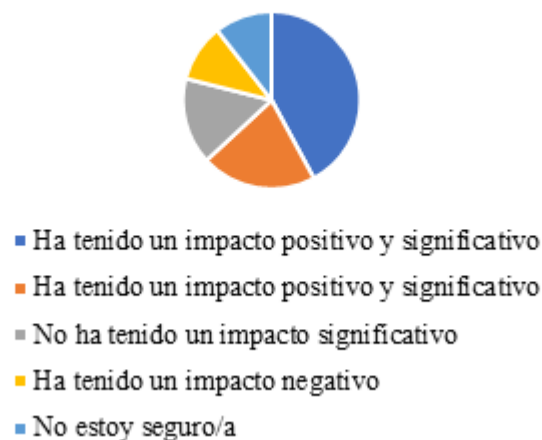
Tiempo medio para finalizar: 00:35

Estado: Activo

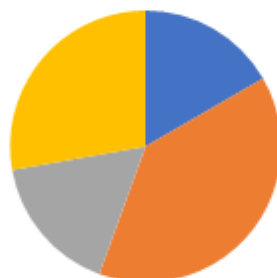
1.-¿Considera usted que la expansión portuaria en Altamira ha contribuido significativamente al desarrollo económico de la región?



2.- ¿Cómo ha afectado el crecimiento de la industria petrolera en Ciudad Madero respecto a la urbanización y desarrollo de infraestructura en Altamira?



3.- En su opinión, ¿cuáles son los principales desafíos que enfrenta Altamira en términos de planificación urbana y desarrollo residencial?

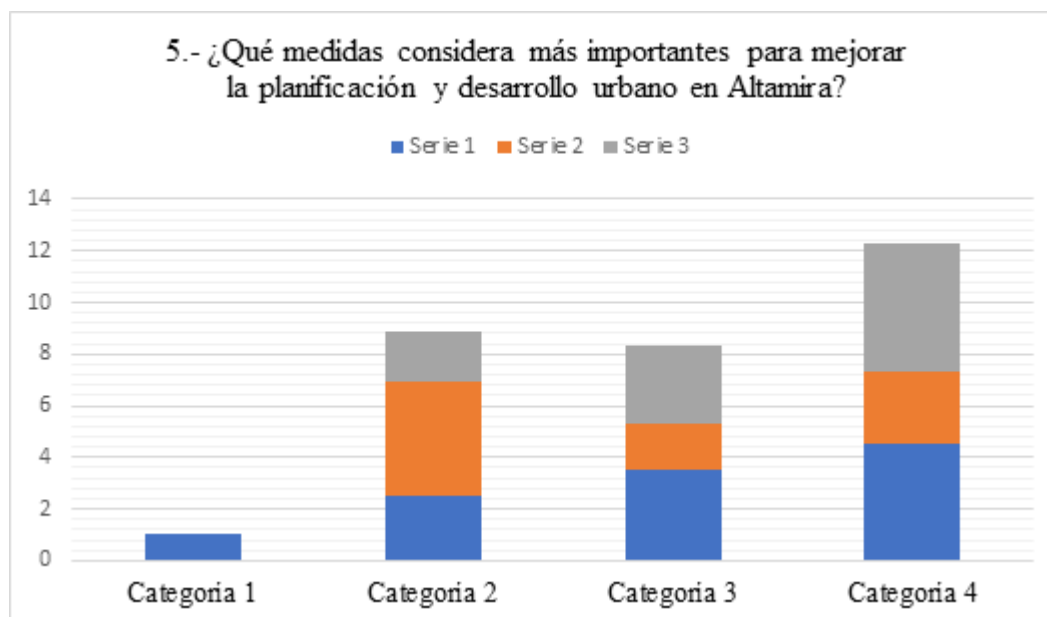


■ Falta de planificación adecuada ■ Infraestructura insuficiente
 ■ Creación de asentamientos ■ Falta de servicios públicos
 ■ Otros

4.- ¿Cree que el crecimiento económico y comercial impulsado por el puerto de Tampico ha beneficiado a Altamira en términos de empleo y desarrollo urbano?



■ Si, significativamente ■ Si, moderadamente ■ No, en absoluto ■ no estoy seguro/a



6.- Si su respuesta fue «otros» favor de especificar:

Respuestas: 0

En la primera gráfica, podemos observar que el 53 % de los encuestados piensa que el desarrollo económico de Altamira es por la industria del corredor portuario. En la segunda gráfica, vemos que el 42 % de los encuestados opina que Ciudad Madero tiene influencia en el desarrollo e infraestructura de Altamira, esto por ser zonas conurbadas.

En la pregunta tres, que trata sobre la planificación urbana y desarrollo residencial, el 39 % opina que una buena infraestructura es esencial para el desarrollo de la ciudad. En la cuarta pregunta, el 59 % de los encuestados piensa que el crecimiento industrial ayuda al desarrollo de la ciudad, aunque moderadamente. Asimismo, nadie opinó que fuera la razón principal de su crecimiento.

En la quinta gráfica, observamos que el fomento a la colaboración entre

industrias, gobierno y comunidades es la medida más importante para mejorar la planificación de Altamira.

Por último, en la pregunta seis, ningún encuestado especificó alguna otra respuesta.

5. Resultados

La ciudad de Altamira, Tamaulipas, enfrenta significativos desafíos en términos de desarrollo urbano y económico. El Sr. Hermelindo, presidente de colonos, subraya la falta de oportunidades laborales y la insuficiente infraestructura urbana como problemas críticos que afectan a los residentes. A pesar de contar con una excelente mano de obra en construcción, la mayoría de los trabajadores en el Corredor Industrial son traídos de fuera, principalmente de Monterrey, lo que refleja una baja oferta de empleo local.

Esta situación resalta la necesidad urgente de un mayor apoyo gubernamental y una planificación estratégica para desarrollar la infraestructura urbana y crear más oportunidades laborales para los residentes de Altamira. La colaboración entre el sector público y privado será crucial para superar estos desafíos y aprovechar las oportunidades de crecimiento que presenta esta región.

6. Discusión de los resultados

Actualmente, la infraestructura de Altamira necesita varias modificaciones en el diseño de la urbanización y arquitectura para hacer frente a las necesidades que actualmente son primordiales en términos de desarrollo comercial y turismo. Sin ambas no es posible iniciar un cambio en el diseño de urbanismo en la ciudad.

7. Referencias

Amparán, A. L. (2010). *Informe de Gobierno: Anexo estadístico*. Gobierno de Altamira Tamaulipas.

Amparán, A. L. (2019). *Informe de Gobierno: Acciones con Desarrollo Sustentable*. Gobierno de Altamira Tamaulipas.

Desarrollo Económico de Altamira. (2018). *Guía del Inversionista*. <https://www.altamira.gob.mx>

Inegi. (2019). *Dinámica de la población*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tam/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=28>

Rodríguez, A. et al. (2021, 16 de enero). *Zonificación secundaria*. Imeplan Sur de Tamaulipas. <http://www.imeplansurdetamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/sites/89/2023/03/02.-zonificacion-secundaria-20-30.pdf>

El diseño del entorno físico de trabajo como instrumento estratégico de la cultura organizacional

The design of the physical work environment as a strategic instrument of organizational culture

Mtra. Gloria del Carmen Ramírez Saldaña¹  / Dr. Rodrigo Franco Muñoz¹  / Dr. Alejandro Acosta Collazo¹ 

¹ Universidad Autónoma de Aguascalientes, Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción. Doctorado en Ciencias de los Ámbitos Antrópicos

Correspondencia: glohepa13@hotmail.com

 ORCID ID: 0004-2572-6796 / 0000-0002-8294-7948 / 0000-0002-8655-2038

Resumen: Este artículo examina cómo el diseño del espacio laboral impacta en la productividad y el bienestar de los empleados, a través de un enfoque cualitativo basado en el estudio de tres áreas administrativas de una institución pública en Irapuato, Guanajuato. El objetivo principal fue identificar la influencia del diseño del espacio en el desempeño y la satisfacción de los empleados. A través de entrevistas semiestructuradas, se recogieron percepciones directas sobre su entorno laboral, para determinar las características específicas que impactan significativamente su comportamiento y emociones. Los resultados respaldan las hipótesis planteadas, demostrando que un diseño adecuado del espacio de trabajo no sólo aumenta la productividad, sino que también mejora el bienestar emocional. Las conclusiones subrayan la importancia del diseño del entorno laboral como una herramienta estra-

técnica para las organizaciones, ya que su correcta implementación influye directamente en la eficiencia organizacional y en el bienestar del personal. Este estudio es especialmente relevante porque proporciona ideas prácticas para la optimización de los entornos laborales, contribuyendo al desarrollo de prácticas que favorezcan tanto la satisfacción del personal como la eficiencia dentro de las empresas.

Palabras clave: espacio de trabajo; percepciones de empleados; bienestar emocional; productividad; eficiencia organizacional.

Abstract: This article examines how workspace design impacts employee productivity and well-being, using a qualitative approach based on the study of three administrative areas of a public institution in Irapuato, Guanajuato. The main objective was to identify the influence of space design on employee performance and satisfaction. Through semi-structured interviews, employees' direct perceptions of their work environment were collected, to determine the specific characteristics that significantly impact their behavior and emotions. The results support the hypotheses raised, demonstrating that an adequate workspace design not only increases productivity, but also improves the emotional well-being of employees. The conclusions underline the importance of workspace design as a strategic tool for organizations, since its correct implementation directly influences organizational efficiency and staff well-being. This study is particularly relevant because it provides practical ideas for optimizing work environments, contributing to the development of practices that promote both staff satisfaction and efficiency within companies.

Keywords: workspace; employee perceptions; emotional well-being; productivity; organizational efficiency.

1. Introducción

La relación entre el espacio construido y el bienestar de los empleados es un tema de creciente interés en la gestión de talento humano y el diseño organizacional. En el contexto actual, donde la mayor parte de la jornada laboral transcurre dentro de entornos edificados, es esencial comprender cómo estos espacios influyen en la productividad y el bienestar de los trabajadores. Este estudio se centra en analizar los elementos del espacio laboral en instituciones públicas de Irapuato, Guanajuato, y cómo estos afectan tanto física como psicológicamente a los empleados. Se estima que los trabajadores pasan, en promedio, alrededor de 2000 horas al año en sus lugares de trabajo, lo que subraya la importancia de diseñar entornos que no sólo cumplan con funciones operativas, sino que también promuevan el bienestar integral de los empleados.

El diseño estratégico del espacio de trabajo tiene el potencial de convertirse en un factor clave de la cultura organizacional, influyendo en la satisfacción, el compromiso y el rendimiento de los empleados. Sin embargo, los entornos laborales suelen priorizar la eficiencia y la reducción de costos sobre el confort y la calidad de vida, lo que puede crear espacios que no favorecen el bienestar de sus ocupantes. Este trabajo pretende identificar los efectos que estos entornos tienen en los empleados y describir sus expectativas respecto al diseño de sus lugares de trabajo. Los resultados obtenidos buscan contribuir a la generación de directrices para la creación de espacios laborales que equilibren funcionalidad, estética y bienestar, con el fin de mejorar la competitividad empresarial a través de un enfoque centrado en el bienestar.

2. Objetivos de la investigación

General

Analizar cómo los elementos del espacio construido en entornos de trabajo

influyen en la productividad y el bienestar de los empleados en instituciones públicas de Irapuato, Guanajuato.

Específicos

- Estimar el tiempo promedio que los empleados pasan en sus espacios de trabajo y examinar cómo este factor impacta en su bienestar y productividad.
- Identificar los efectos físicos y psicológicos del entorno laboral en los empleados, evaluando aspectos como el estrés, la satisfacción y la motivación.
- Describir las expectativas de los empleados sobre el diseño y la funcionalidad de sus lugares de trabajo, explorando cómo estas pueden alinearse con las estrategias de diseño organizacional.
- Proponer recomendaciones para el diseño estratégico de áreas de trabajo que promuevan el bienestar y la productividad de los trabajadores, basadas en los hallazgos de la investigación.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

Una vasija puede ser muy bella,
bien ornamentada, grande o pequeña,
pero su real y verdadera utilidad
reside y radica en su vacío.
(Lao Tsé)

La cita de Lao Tsé pretende promover una visión holística de la importancia del diseño del espacio construido y su relación con el bienestar de las personas que lo habitan. Alrededor de 3500 horas al año, trabajamos dentro de edificios que no fueron pensados y contruidos para hacernos sentir bien.

Los entornos laborales suelen diseñarse con un propósito elemental centrado en aprovechar metros cuadrados y reducir costos.

Resulta dudoso que el tipo de diseño tradicional que se aplica a nuestras organizaciones —castigadas por la optimización del espacio y la negación de la necesidad de elementos de belleza formal— ayude a los empleados a tener confort. Por el contrario, eleva sus niveles de estrés y favorece la ansiedad, la depresión y el bullying.

La investigación ha demostrado que el espacio físico influye sobre el comportamiento psicológico y físico de los individuos. Lotito (2009) lo define como «un conjunto de hechos y circunstancias que determinan el comportamiento de un sujeto dado en un momento determinado» (p. 13). También asegura que este espacio afecta al individuo mismo, los objetivos que busca realizar, los factores negativos que trata de eludir, así como las barreras que restringen y limitan sus movimientos, o bien, los caminos que debe seguir para alcanzar aquello que desea. Por lo tanto, el espacio debe ser visto como el mundo que afecta a la persona.

Un trabajador es un ser biopsicosocial, por tanto, su salud, bienestar y felicidad son partes integrales no sólo de la vida, sino también del trabajo. Pero el bienestar y la felicidad no se pueden administrar porque son reflejo de la armonía física y psicológica con el medio. Su percepción también es vital (Salazar *et al.*, 2009, p. 71).

Así, el espacio laboral puede convertirse en uno de los factores estratégicos más importantes de la cultura organizacional para que los trabajadores potencien el proceso creativo, analítico, práctico y social, al igual que sus estados mentales y emocionales. El valor objetivo del inmueble, la imagen que proyecta y la influencia que ejerce en el desempeño y la satisfacción de los empleados son algunas de las áreas con las que se puede diferenciar un buen diseño del espacio físico de trabajo.

Una visión interdisciplinaria puede ser valiosa porque permite observar el mismo objeto de estudio desde distintas perspectivas, aportando todas, una parte significativa de la verdad. De tal forma que podamos conciliar estos enfoques y proponer nuevas alternativas. «Diseño, color, arquitectura, distribución del espacio y psicología, constituyen las notas de una misma partitura, las que dan luz a una misma y única sinfonía: la música de la armonía y del bienestar de las personas» (Lotito, 2009, p.17).

Ante este panorama y buscando desafiar esta cuestión, se llevó a cabo la investigación *El Diseño del entorno físico de trabajo como instrumento estratégico de la Cultura Organizacional*, en la ciudad de Irapuato, Guanajuato, para lograr un acercamiento más amplio y profundo sobre este tema.

Crear condiciones de trabajo agradables y productivas es motivo de especial preocupación para la gestión de capital humano de cualquier organización. Por ello, es importante seguir buscando alternativas que conduzcan a tener ambientes de trabajo que se conviertan en motores para impulsar la creatividad, innovación, colaboración y productividad colectiva entre sus trabajadores.

4. Metodología

En esta investigación se utilizó una metodología cualitativa, con el propósito de estudiar la realidad institucional en su contexto de forma natural y espontánea, tal y como se presenta, intentando extraer una interpretación del fenómeno estudiado a través del análisis de los sucesos, de acuerdo con el significado que tiene para las personas involucradas. En investigaciones de tipo social, como esta, se requiere de un paradigma interpretativo que permita una indagación abierta y flexible del objeto estudiado (Corona, 2018). Para este estudio se eligió el «método del caso», ya que delimita de manera directa el estudio de tres áreas pertenecientes de una institución de servicio público, que son: área de directivos, área de coordinadores y área de perso-

nal administrativo, las cuales involucran a 30 personas. El objetivo es lograr un conocimiento amplio respecto a una realidad única y concreta, pero que puede ser emblemática y representativa de casos similares.

El estudio se llevó a cabo con el personal de todos los niveles que labora en las tres áreas de la institución: tres directivos, trece coordinadores y catorce administrativos o auxiliares. El rango de edad oscila entre los 23 y los 59 años.

4.1. Técnica e instrumento

Se utilizó la técnica de entrevista semiestructurada con una guía de entrevista como instrumento.

Las preguntas sobre el entorno de trabajo fueron: ¿Cuántas horas permaneces en promedio en tu área de trabajo? ¿Cómo describirías tu espacio laboral? ¿Cuáles son los efectos que te provoca tu lugar de trabajo? ¿Qué cambiarías de tu espacio físico de trabajo?

5. Resultados y discusión

Los jóvenes entre 23 y 35 años se mostraron más dispuestos a responder las preguntas de la entrevista, mientras que las personas con mayor antigüedad manifestaron cierta resistencia por temor a represalias de sus superiores, aun cuando se les informó sobre la confidencialidad de este trabajo, que en este caso y para fines de la investigación se indicarán solamente sus iniciales. Con el fin de sistematizar la información del estudio, los resultados se presentan de acuerdo a los cinco propósitos en los que el análisis se centró.

5.1. Tiempo promedio estimado de permanencia en el lugar de trabajo

Para examinar la naturaleza del impacto del entorno laboral en los emplea-

dos de la institución, fue conveniente conocer, en primer lugar, el número de horas promedio que dedican al desempeño de sus labores.

Si bien es cierto que el horario de trabajo para todos los empleados de la institución es el mismo (de 8:30 a 16:00), se estima una jornada en promedio de nueve y media horas al día (Figura 1), debido a las exigencias que el cargo impone. Más del 50% de los entrevistados expresaron que tienen una carga excesiva de trabajo, lo que implica que permanecen más tiempo en la oficina.

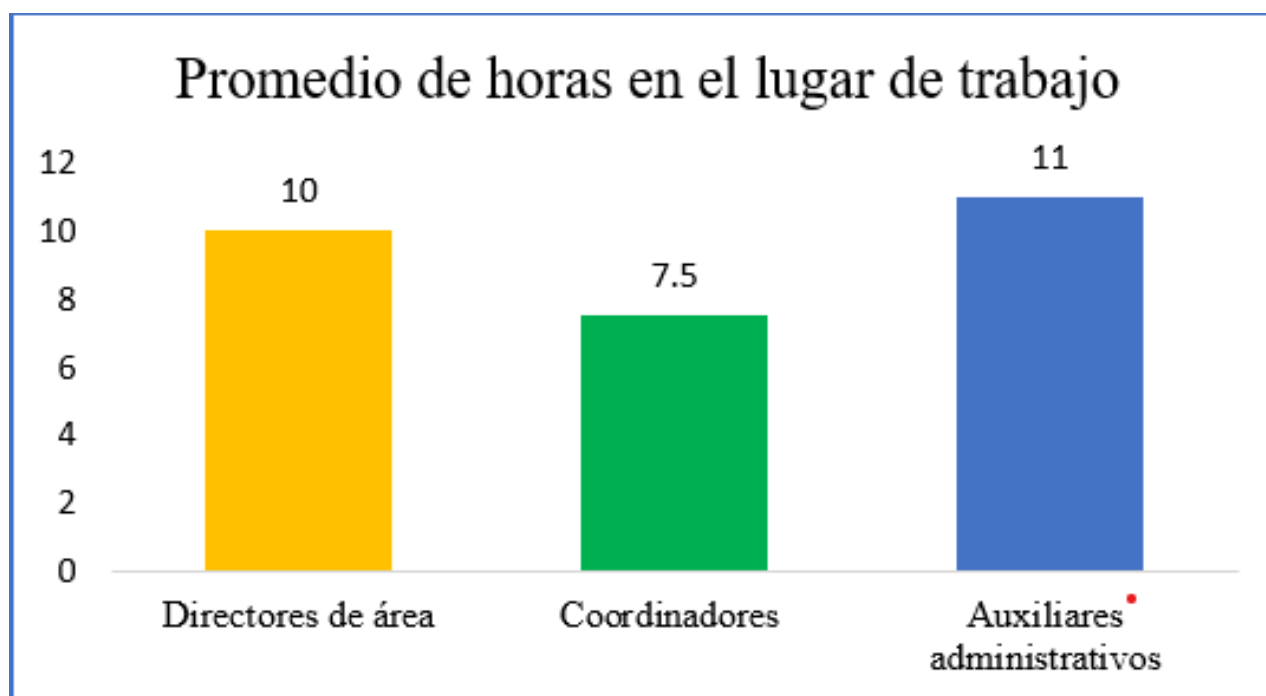
Con estas cifras, se deduce que los trabajadores permanecen más de 2000 horas al año en el lugar de trabajo, y es inevitable que esto influya de forma positiva o negativa en el estado físico y emocional de los empleados, dependiendo de las características del espacio.

De acuerdo con Houtman *et al.* (2008), el estrés laboral, el desgaste físico e intelectual pueden ocasionar que el exceso de trabajo derive en pérdidas de entre el 4 y 6 % de productividad. Asimismo, el 40 % de los trabajadores aseguró que quedarse más tiempo de lo normal disminuye sus niveles de lucidez y productividad, ya que después de las 17:00 horas se sienten muy cansados.

A pesar de que los trabajadores de la institución tienen un contrato colectivo, con una jornada laboral de 40 horas a la semana, los directores de área y los auxiliares administrativos superan esta cifra en 25 % y 37 %, respectivamente. El 56 % de los encuestados refirió que de nada sirve gozar de una jornada menor a la establecida por la Ley Federal del Trabajo (48 horas a la semana), si casi siempre trabajan más de lo legal.

La Figura 1 muestra el promedio de horas trabajadas al día por los empleados de cada área analizada. Llama la atención que únicamente los coordinadores de área laboran sus respectivas siete horas y media.

Figura 1. Número de horas en promedio por área.



Nota: Elaboración propia.

5.2. Factores determinantes del entorno de trabajo

Con base en los resultados de la entrevista, se observaron respuestas muy opuestas para esta cuestión. El 90 % de las personas cuestionadas se sienten incómodas con el diseño del espacio de trabajo (coordinadores y auxiliares administrativos) (Tabla 1). Sin embargo, las respuestas de otro grupo de empleados (directivos) demostraron la aceptación y el gusto por su espacio de trabajo.

Es importante resaltar que los directores de área respondieron positivamente sobre su lugar de trabajo (Tabla 1). Esto se debe a que casi siempre se les da mayor importancia a los espacios de trabajo para estos grupos y se olvidan de la parte operativa. La diferencia entre las áreas para directivos y el resto de los empleados es enorme. Los primeros cuentan con oficinas am-

plias, mayor iluminación, privacidad, muebles ergonómicos y confortables, aire acondicionado, elementos decorativos y, en ocasiones, frigobar, así lo comentaron la mayoría de los entrevistados.

Tabla 1. Comentarios acerca de los espacios de trabajo (directores de área).

Categoría	Comentarios
Iluminación	«Excelente», «confortable», «es cálida y suave».
Espacio y distribución	«Apropiado», «muy amplio», «funcional».
Ventilación	«Suficiente», «agradable», «buena circulación».
Ergonomía	«Cómoda», «placentera», «mobiliario anatómico y adaptable».
Decoración	«Luce bien», «es bonita», «colorida».
Higiene	«Está muy limpio», «está muy aseado», «impecable».
Inmueble	«Es bonito», «agradable», «funcional».

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la entrevista, se definieron cinco categorías para determinar los factores que caracterizan los espacios de trabajo de la institución estudiada. La Tabla 2 muestra las principales deficiencias comentadas por los empleados entrevistados.

Tabla 2. Deficiencias de los espacios de trabajo (coordinadores y auxiliares).

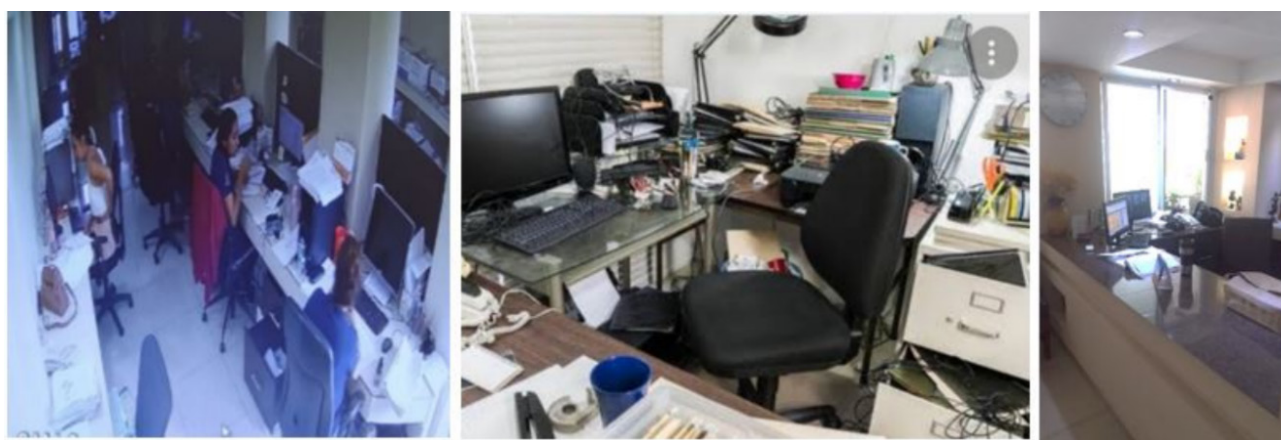
Categoría	Comentarios
Iluminación	«No tenemos luz natural», «está muy oscuro», «la luz de las lámparas que tenemos molesta la vista».
Espacio y distribución	«El espacio es muy reducido», «no se ajusta a las necesidades del trabajo realizado», «no tenemos sana distancia», «estamos muy apretados», «no hay una buena distribución del espacio», «está muy desorganizado y es antifuncional».
Ventilación	«Hace mucho calor», «el aire se siente viciado y a veces huele mal», «no hay aire acondicionado», «las ventanas tienen vidrios rotos».
Ergonomía	«El mobiliario no es confortable», «es muy incómodo estar aquí todo el día», «hay mucho ruido e impide la concentración», «tuvieron que operarme del túnel carpiano hace un año».
Decoración	«El color de las paredes es muy triste», «debería haber por lo menos plantas de adorno», «parece cárcel, no oficina».
Higiene	«Seguido encontramos alacranes», «en mi oficina hay roedores».
Inmueble	«El piso de la entrada está desnivelado y se caen las personas», «es un edificio muy viejo y deteriorado», «algunas paredes tienen humedad y eso me produce resfriado», «faltan plafones en los techos», «se escucha todo en algunas oficinas por ser de tablaroca».

Fuente: Elaboración propia.

El resultado global sobre las características del entorno físico demostró que los espacios destinados para los coordinadores y auxiliares administrativos, a diferencia de los reservados a los directivos, no cubren las necesidades básicas de infraestructura para que el personal se sienta cómodo (ver Figura 2).

El director del área operativa, Alejandro (comunicación personal, 2023), comentó que la falta de presupuesto impide contar con instalaciones adecuadas y bien equipadas. Esta afirmación es muy común entre la mayoría de los empresarios en nuestro país. Sin embargo, aun cuando esto exige cierta inversión, el retorno económico y social que una oficina bien diseñada puede lograr es enorme, sobre todo por el aumento de productividad y bienestar de las personas que allí laboran.

Figura 2. Oficina de auxiliares administrativos, coordinadores y dirección, respectivamente.



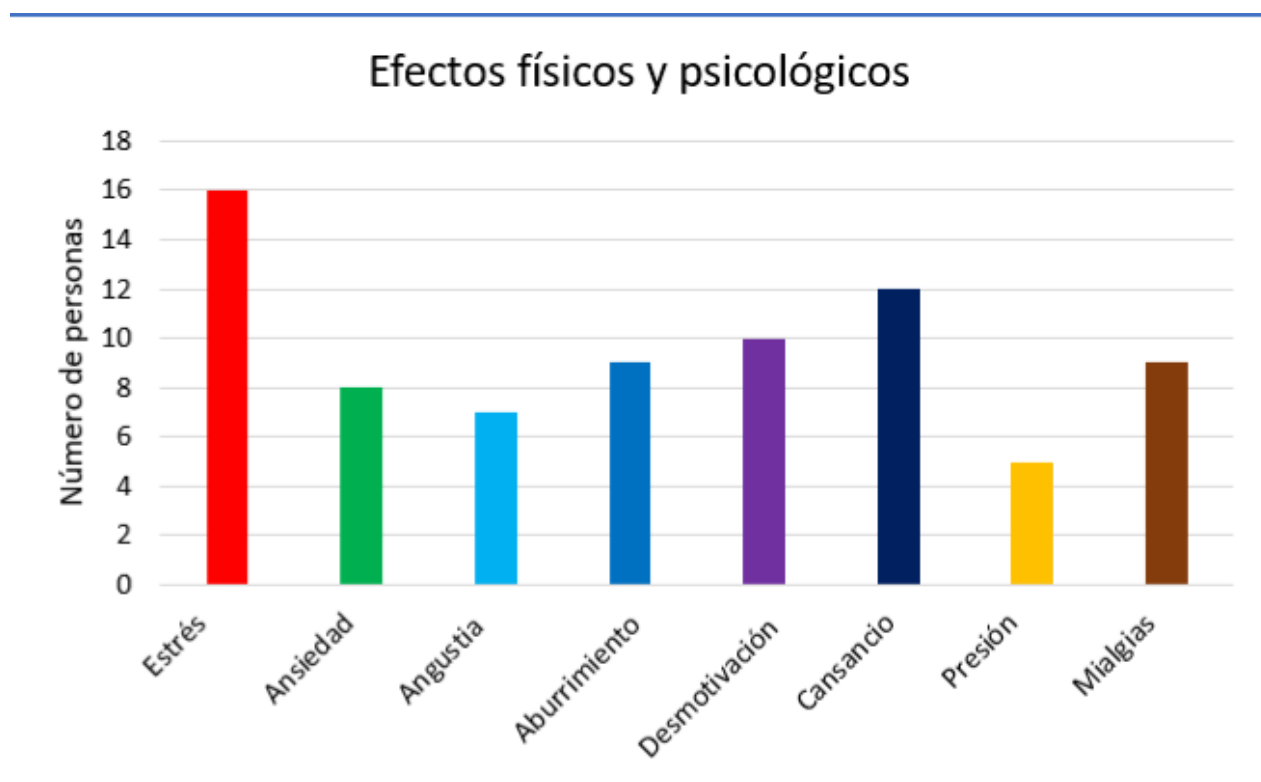
Fuente: Elaboración propia.

Smith menciona que algunos aspectos del bienestar humano, como nuestro estado mental o nuestro nivel de fatiga, se ven afectados por la iluminación y por el color de las cosas que nos rodean (2014). Por otra parte, el efecto de la «U» invertida indica que, a mayores niveles de calor, las conductas agresivas y de hostilidad aumentan a la par de la temperatura (Lotito, 2009).

5.3. Efectos físicos y psicológicos en los trabajadores provocados por el espacio físico

Respecto a los efectos producidos por el espacio de trabajo, las respuestas más constantes se muestran en la Figura 5. Algunos trabajadores dieron más de una respuesta, por lo que la suma de estas difiere del total de personas entrevistadas. Nuevamente, los efectos en el personal directivo resultaron contrarios a los del resto del personal.

Figura 3. Efectos físicos y psicológicos (coordinadores y auxiliares).



Fuente: Elaboración propia.

Las respuestas de los entrevistados arrojaron que más del 50 % de los empleados padecen de estrés laboral, ocasionado por las condiciones físicas de su lugar de trabajo. Este es uno de los factores de riesgo psicosocial (contemplado en la NOM-035) que más dificultades plantea en el ámbito de la

seguridad y la salud en el trabajo. Afecta de manera notable la vitalidad de las personas y de las organizaciones.

Una de las auxiliares administrativas de nombre M. J. (comunicación personal, 2023) reconoció que cuando hace demasiado calor le da sueño y en ocasiones se muestra apática con sus compañeros de trabajo. «Me gustaría tener los recursos y comodidades necesarias para cumplir con mis actividades cotidianas de mejor manera».

La auxiliar administrativa A. M. (comunicación personal, 2023) comentó: «La pobre iluminación y la mala ventilación me ponen de mal humor y, en ocasiones, pierdo la noción del tiempo. Esto me genera ansiedad porque ya me quiero ir a mi casa y todavía no es la hora de salida».

Algunos de los empleados con mayor antigüedad mencionaron que la mayoría del mobiliario no es ergonómico, por lo que continuamente padecen de estrés excesivo, tensión y lesiones debido en su mayoría a posturas incómodas.

En la totalidad de los puestos de trabajo, el efecto depende no sólo de las características del espacio, sino también del tiempo que las personas permanecen en este. El importe total de la jornada de trabajo potencia la intensidad de los impactos producidos.

La mayoría de las personas entrevistadas aseguraron que estos efectos derivados de las deficiencias en el diseño de sus lugares de trabajo han tenido consecuencias negativas como ausentismo, bajo rendimiento, enfermedades, accidentes y lesiones. M. J. (Director de Capital Humano) mencionó que los costos anuales asociados han sido cuantiosos para la institución.

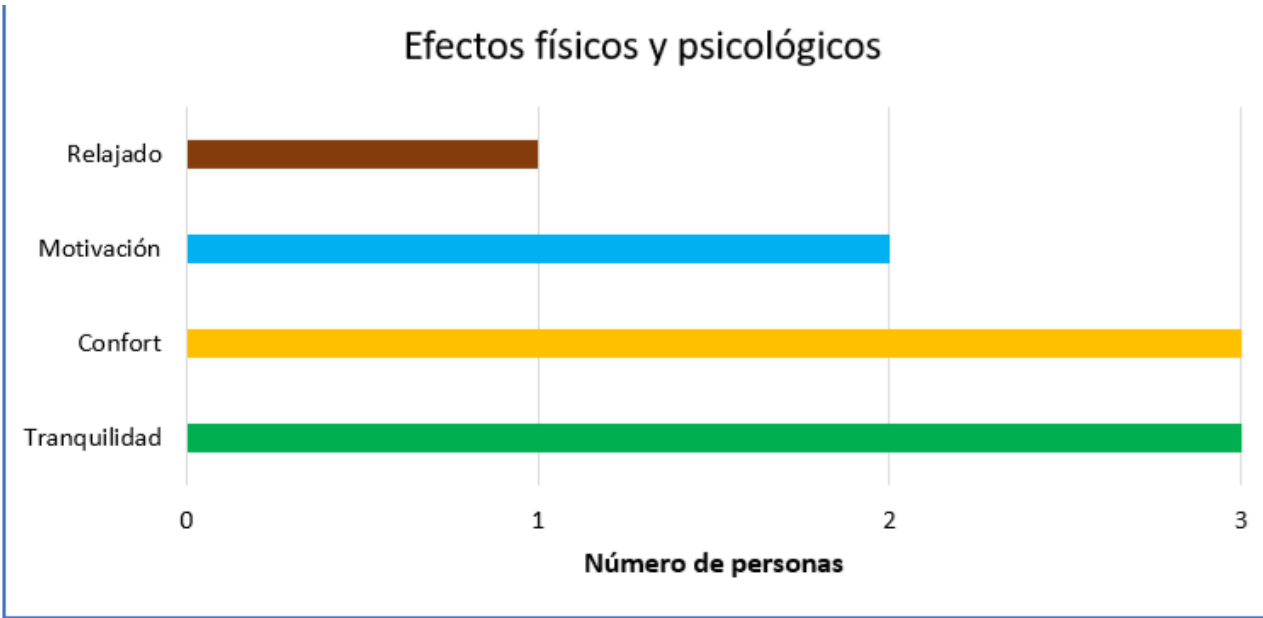
Las respuestas obtenidas durante la entrevista aportan evidencia acerca de las implicaciones que tiene el espacio físico sobre el individuo, las cuales se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Implicaciones de entorno de trabajo (coordinadores y auxiliares).

Porcentaje	Factor	Efecto
90 %	Iluminación	Cansancio, desesperación, desgaste psicológico, angustia.
90 %	Inmueble	Desánimo, desmotivación.
90 %	Ventilación	Ansiedad, apatía, hostilidad, desánimo, mal humor, presión.
70 %	Higiene	Mal humor, angustia.
57 %	Ergonomía	Dolores musculares, tensión, estrés, lesiones.
32 %	Decoración	Estrés, aburrimiento, desmotivación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Efectos físicos y psicológicos (directores).



Fuente: Elaboración propia.

Los directores de área difieren del resto del personal, lo que permite comprobar la estrecha relación que hay entre el diseño del espacio de trabajo, el bienestar de los trabajadores y su consecuente nivel de productividad.

Aunque parezca irrelevante, detalles tan simples como la luz o la decoración incrementan la satisfacción y la motivación de los empleados.

5.4. Expectativas de los trabajadores acerca del diseño de su entorno laboral

Las expectativas de los trabajadores respecto al diseño de su lugar de trabajo se sintetizaron en seis categorías (Figura 7). El 90 % del personal eligió, en primer lugar, tanto la iluminación como la ventilación. Llama la atención que a más del 30 % de los trabajadores les gustaría darle un toque personalizado a su espacio laboral. Sin embargo, expresaron que, al ser tan reducido, no cabe ni una foto, mucho menos una maceta.

Además, el 30 % de los trabajadores comentó que a menudo tienen que apoyar económicamente para comprar papel higiénico para cada departamento. Así mismo, el 60 % de los coordinadores mencionó que no cuentan con equipo tecnológico actualizado y prefieren llevarse su equipo personal. Esto de alguna manera les causa insatisfacción y desmotivación.

Figura 7. Expectativas de los empleados sobre el diseño del entorno laboral.



Fuente: Elaboración propia.

La directora del área administrativa B. E. (comunicación personal, 2023) explicó que no hace falta instalar equipos sofisticados o novedosos, simplemente tener un entorno laboral propicio para lograr los objetivos de la organización. «Es por ello que apreciamos elementos como la ventilación, pues en ocasiones confluyen demasiadas personas en la oficina; otras veces se requiere concentración y necesitamos aislarnos del ruido y de la gente».

La mayoría de los auxiliares administrativos expresó que no cuentan con el mobiliario necesario para archivar u organizar los documentos y, que en ocasiones, pierden mucho tiempo tratando de encontrar algún reporte. La falta de mobiliario adecuado les genera contaminación visual y estrés porque hay papeles amontonados. De igual forma, ver los espacios de los compañeros en el mismo estado les produce depresión.

Otros comentaron que las sillas de escritorio son incómodas y, después de unas horas de trabajo, suelen tener dolor de cabeza, espalda o cuello. Además, la falta de áreas de descanso les hace sentirse ansiosos, así que se refugian en los baños buscando un momento de paz y tranquilidad.

Aunado a lo anterior, los trabajadores que participaron en el estudio expresaron la necesidad de dar mantenimiento a las instalaciones de manera periódica, ya que en ocasiones sufren de goteras, desperfectos en los sanitarios y cortes de energía eléctrica o agua.

6. Conclusiones

El estudio demuestra una clara relación entre el diseño del espacio laboral y la productividad. De esta manera los entornos de trabajo provocan efectos físicos y psicológicos en los empleados. En el edificio analizado, faltan elementos básicos en cuanto a infraestructura, debido principalmente al desconocimiento de los directivos sobre la importancia del diseño y el interiorismo para la productividad y el bienestar de los trabajadores.

Los espacios destinados a coordinadores y auxiliares administrativos carecen de iluminación, ventilación, mobiliario, espacio y decoración adecuados, en contraste con las áreas del grupo directivo, que están bien equipadas. Esta disparidad contradice los argumentos de limitaciones presupuestales y subraya la falta de comprensión sobre el valor de un entorno laboral adecuado.

Las áreas bien diseñadas y equipadas generan tranquilidad, confort y motivación, mientras que los espacios deficientes provocan estrés, ansiedad, desmotivación y otros efectos negativos, impactando directamente en la productividad. La percepción del espacio influye en los estados emocionales y conductas. Solís y Herrera (2017) señalan que el entorno físico tiene un impacto constante y profundo en las personas.

Es fundamental contar con una infraestructura adecuada que ofrezca un ambiente laboral favorable que contribuya al bienestar y desempeño de los empleados. Las organizaciones deben aprovechar los conocimientos actuales en diseño de espacios para crear entornos laborales de calidad, involucrando a profesionales de la empresa en el proceso para adaptar los diseños a las necesidades específicas de cada organización.

Los entornos de trabajo deben evolucionar junto con los cambios generacionales y las demandas del mercado. Adaptarse a los nuevos tiempos mejora la competitividad y el desarrollo de las empresas; es importante prestar atención a los detalles y adaptar los espacios a las particularidades de cada organización. El desafío clave es diseñar espacios centrados en el usuario, considerando sus características y necesidades, para que el entorno laboral se convierta en un componente estratégico de la cultura organizacional.

7. Referencias

- Cona, J. C. (2018). Investigación cualitativa: fundamentos epistemológicos, teóricos y metodológicos. *Vivat Academia. Revista de comunicación*, 144, 69-76. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5257/525762351005/html/>, Consultado el 16 junio 2022
- Groat, L. y Wang, D. (2002). *Architectural Research Methods*. Wiley & Sons, Inc.
- Lotito, F. (2009). Arquitectura, psicología, espacio e individuo. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]*, 6, octubre de 2017, 12-17. <https://doi.org/10.4206/aus.2009.n6-03>.
- Mejía, A. (2010). Estrés ambiental e impacto de los factores ambientales en la escuela. *Pampedia*, 7, 3-18.
- Houtman, I. et al. (2008). *Sensibilizando sobre el estrés laboral en los países en desarrollo. un riesgo moderno en un ambiente de trabajo tradicional. Consejos para empleados y representantes de los trabajadores*, [Folleto]. http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789243591650_spa.pdf
- Salazar, J. et al. (2009). Clima y cultura organizacional: dos componentes esenciales en la productividad laboral. *ACIMED*, 20(4), 67-75. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001000004&lng=es&tlng=es
- Solís, A. M. E., y Herrera, N. L. R. (2017). El espacio físico y la mente: Reflexión sobre la neuroarquitectura. *Cuadernos de Arquitectura*, 7(07), 41-47. <http://cuadernos.uanl.mx/pdf/num7/4.%20El%20Espacio%20Fisico%20y%20la%20Mente.%20Reflexion%20sobre%20la%20neuroarquitectura.pdf>.
- Smith, A. (2014). Condiciones de la iluminación general. *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>

Entrevistas:

A. M. (comunicación personal, 23 de febrero, 2023).

B. E. (comunicación personal, 23 de febrero, 2023).

J. A. (comunicación personal, 23 de febrero, 2023).

M. J. (comunicación personal, 23 de febrero, 2023).

Área

Salud

Los determinantes sociales como impulsores del bienestar sanitario en México 2001-2020. Un estudio de panel de datos

Social determinants as drivers of health well-being in Mexico 2001-2020. A panel data study

Daniel Carrillo Gómez 

Universidad La Salle Morelia

Correspondencia: dcarrillog@ulsamorelia.edu.mx

 ORCID ID: 0000-0001-6930-2195

Resumen: El estudio teórico del desarrollo humano tiene su génesis en la década de los 90 como una crítica a las visiones economicistas que hasta estos años se tenían al incorporar indicadores cualitativos como la libertad, equidad y justicia para explicar la evolución social. La libertad permite al individuo expresar sus capacidades en un entorno social, pero todo esto no es posible sin una buena salud. Durante los últimos años, México ha implementado políticas sanitarias basadas en los determinantes sociales de la salud (DSS) en apego con los acuerdos internacionales. Este trabajo explica cuáles de los indicadores sanitarios estatales han eficientado las políticas de salud y, por ende, aportado mayores beneficios sociales. El trabajo presenta un análisis econométrico de datos de panel de mínimos cuadrados dinámicos. Para estos fines, se analizaron 31 estados y la Ciudad de México por el periodo comprendido entre 2001 y 2020. Se considera como variable dependiente el Índice de Salud por entidad federativa, el cual se calculó conforme a las notas

técnicas del PNUD. Por otro lado, se emplean cinco variables independientes tomadas de los indicadores del Gobierno mexicano de las condiciones de salud, de eficiencia, disponibilidad y accesibilidad y sustentabilidad. Se concluyó que la variable más significativa es el número de médicos por cada mil habitantes, seguida por la cantidad de intervenciones quirúrgicas, lo que indica que el Estado mexicano debe realizar mayores inversiones en estos rubros para aumentar el bienestar sanitario.

Abstract: The theoretical study of human development has its genesis in the 1990s as a criticism of the economistic visions that were held until these years by incorporating qualitative indicators such as freedom, equity and justice to explain social evolution. Freedom allows the individual to express his or her abilities in a social environment, but all this is not possible without good health. During recent years, Mexico has implemented health policies based on the social determinants of health (SDH) in accordance with international agreements. This work explains which of the state health indicators have made health policies more efficient and, therefore, provided greater social benefits. The work presents an econometric analysis of dynamic least squares panel data. For these purposes, 31 states and Mexico City were analyzed for the period between 2001-2020. The Health Index by federal entity is considered as a dependent variable, which was calculated according to the UNDP technical notes. On the other hand, five independent variables taken from the Mexican Government's indicators of health conditions, efficiency, availability and accessibility and sustainability are used. It was concluded that the most significant variable is the number of doctors per thousand inhabitants, followed by the number of surgical interventions, which indicates that the Mexican state must make greater investments in these areas to increase health well-being.

1. Introducción

El desarrollo de la salud pública tiene sus raíces en el siglo XVIII, una época marcada por epidemias devastadoras como la viruela, el tifus y la cólera. Estas enfermedades, exacerbadas por la mala alimentación, el hacinamiento y la falta de gestión de residuos en las ciudades, provocaron una reflexión global sobre la necesidad urgente de mejorar la sanidad (Fierros, 2014). Paralelamente, los avances científicos como el termómetro y las mejoras en los microscopios facilitaron el cuidado de la salud. En respuesta a estas necesidades, los monarcas comenzaron a promover la construcción de hospitales, entre ellos destaca el Hospital General de Viena, inaugurado en 1784 (Porter, 2004).

La Ilustración influyó en la búsqueda del bien común en todos los ámbitos sociales, públicos y privados, a fin de que los individuos tuvieran la posibilidad de superar los padecimientos mediante el entendimiento de la naturaleza y las afectaciones que producen en la salud social (Staples, 2008). Esta influencia llevó a una transformación gradual en las relaciones entre el Estado y la comunidad, destacando la importancia de la limpieza urbana para prevenir enfermedades, una idea que se cristalizó en las reformas sanitarias de la Revolución francesa y en los Estados posteriores (Foucault, 1966).

El concepto de salud pública evolucionó con el tiempo. Inicialmente, estuvo centrado en el control del hacinamiento y el cuidado de los pordioseros, así como en la gestión del agua. Esta evolución llevó a la creación de organismos supranacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), fundada en 1948, con el objetivo de alcanzar un bienestar integral a nivel global, más allá de la mera ausencia de enfermedades (OMS, 2006).

La OMS ha enfrentado desafíos significativos, como la falta de recursos en muchos países, lo que ha impedido la consecución de sus objetivos de ofrecer servicios sanitarios de calidad a toda la población mundial. Esto llevó a la creación de la Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud (CDSS), que busca abordar las desigualdades en salud y mejorar las condiciones de vida a

nivel global (OMS, 2008). Los determinantes sociales de la salud, entendidos como factores económicos, políticos, culturales, sociales y ambientales, son clave en la situación sanitaria de los individuos. La CDSS, a través de un informe exhaustivo, subraya la necesidad de políticas públicas que mitiguen estas desigualdades (OMS, 2005).

A nivel internacional, el derecho a la salud se ha consolidado a través de instrumentos como la Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948) y el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (1966), los cuales establecen la salud como un derecho humano fundamental. Sin embargo, la implementación de este derecho sigue enfrentando desafíos. Incluso, se han desarrollado criterios como los establecidos por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales en su observación general número 14 (2000) para clarificar el alcance, las características e implicaciones de este derecho, convirtiéndose en los lineamientos sanitarios a seguir por los Estados miembros.

En América Latina, la crisis de deuda de los años ochenta provocó reformas significativas en el sector sanitario, que fueron impulsadas por organismos como el Banco Mundial (BM). Estas reformas se centraron en fomentar la iniciativa privada y descentralizar los servicios de salud del sector gubernamental, bajo la premisa de modernización y eficiencia (Uribe y Abrantes, 2013).

El BM, en su informe de 1987, planteó la necesidad de cobrar aranceles a los usuarios, crear seguros de salud, fomentar la participación del sector privado y descentralizar los servicios gubernamentales para mejorar la eficiencia y el acceso a los servicios de salud (World Bank, 1987). Estas recomendaciones, junto con las propuestas de otras instituciones como la Fundación Rockefeller, marcaron un cambio estructural en la salud pública latinoamericana, que se enfocó en la modernización y eficiencia del sector.

Resulta evidente que la conceptualización de la salud ha evolucionado

tanto desde una perspectiva de cuidado y vigilancia, pasando por los estudios científicos y tecnológicos, hasta el aspecto social donde la salud no debe ser considerada como una falta de padecimientos, sino como una expresión de las libertades de los individuos y la potencialización de sus capacidades. Si bien, a nivel mundial hemos esbozado esta evolución, se hace necesaria una retrospectiva sanitaria en México a fin de entender cómo se ha implementado esta evolución.

1.1. Reseña histórica de las políticas de salud en México

El periodo de 1994-2000 en México fue crucial para las reformas de salud. Durante la Administración de Ernesto Zedillo, se implementaron cambios significativos en la Ley del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y en la estructura de los servicios de salud para aquellos sin cobertura (Secretaría de Salud, 1996). Las reformas legales al IMSS eliminaron su rol como administrador de los fondos de retiro y responsable de pensiones, trasladando estas funciones a las Afores y aseguradoras, lo que fortaleció al sector financiero privado y mercantilizó las pensiones (Ulloa, 1996).

Las modificaciones en las cuotas patronales pretendían fomentar la mercantilización de los servicios de salud, incentivando la migración de grandes contribuyentes del IMSS al sector privado. Esto resultó en una falta de financiamiento para el IMSS, que seguía atendiendo a trabajadores con menores ingresos y mayores riesgos de salud (Laurell, 1996; Barreiro, 1996). La descentralización y segmentación de servicios sanitarios se consolidaron, permitiendo que las entidades federativas asumieran responsabilidades sobre las unidades médicas, lo que dio origen a los Sistemas Estatales de Salud (Sesa) (López, 1996).

El enfoque de salud se basó en la atención primaria a ciertos grupos, impulsado por organismos internacionales como el Banco Mundial, que recomendaban financiar acciones de bajo costo, pero con gran impacto en

la mortalidad (Banco Mundial, 1993). Estas recomendaciones se plasmaron en el Programa de Reforma del Sector Salud 1995-2000, que establecía un paquete de servicios básicos para personas no aseguradas y promovía la mercantilización de los servicios de salud (Secretaría de Salud, 1996).

El Programa Nacional de Salud 2001-2006 de Vicente Fox continuó con las políticas privatizadoras, las cuales ajustaron la política fiscal con las acciones sanitarias y establecieron el Sistema de Protección Social en Salud (SPSS) y el Seguro Popular en Salud (SP) en 2003 (FUNSALUD, 2013). Sin embargo, la implementación del Seguro Popular enfrentó problemas de diseño, como el centralismo y un paquete limitado de servicios, además fomentó la intervención del sector privado en los servicios médicos, lo que debilitó la capacidad del SNS para satisfacer la demanda (Secretaría de Salud, 2001).

Durante el sexenio de Felipe Calderón (2006-2012), se continuaron las políticas sociales de salud de su predecesor, añadiendo el Seguro Médico para una Nueva Generación (SMNG) y la Estrategia Embarazo Saludable, pero enfrentó críticas por la rotación de comisionados y la subrogación de servicios (Leal, 2013). La Administración de Enrique Peña Nieto (2012-2018) prometió un sistema universal de salud, pero la implementación de reformas y centralización de recursos enfrentó desafíos, evidenciando la complejidad de alcanzar una universalidad efectiva en salud (FUNSALUD, 2013).

Finalmente, la Administración de Andrés Manuel López Obrador (2018-2024) buscó transformar el sistema sanitario. Al criticar modelos anteriores, propuso el Instituto de Salud para el Bienestar (INSABI) para garantizar la atención médica universal, enfrentando así problemas de infraestructura y recursos humanos heredados (Tetelboin *et al.*, 2020).

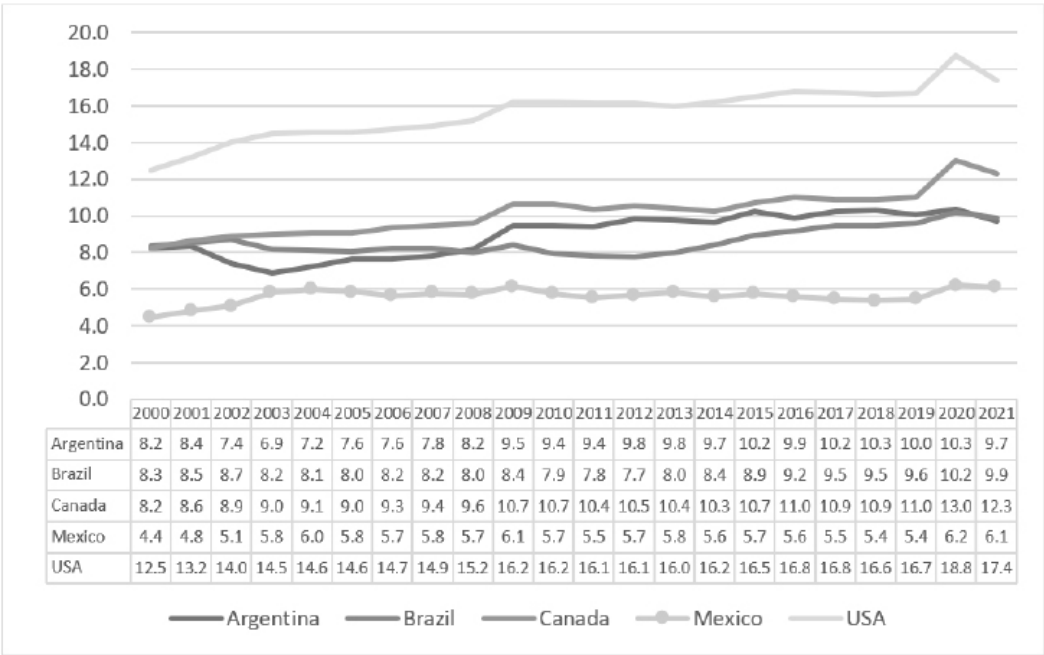
Pareciera que cada una de las administraciones públicas federales tiende a aplicar soluciones alejadas entre sí, pero al analizarlas a detalle, percibimos que México se ha alineado con las ideas y visiones de los organismos

supranacionales. Pese a los esfuerzos por afrontar las problemáticas sanitarias, estos sistemas han mostrado problemas en común.

1.2. Problemáticas del sistema sanitario de México

En México, el sistema de aseguramiento de salud ha estado históricamente vinculado al estado laboral de los ciudadanos, lo que ha resultado en una segmentación del acceso a los servicios de salud, afectando a cerca del 50-60 % de la población (Chertorivski-Woldeberg, 2011). Este modelo ha exacerbado la desigualdad, especialmente en un contexto donde el empleo formal no ha crecido al ritmo de la población económicamente activa, y donde las recesiones económicas han impactado negativamente en la creación de empleo formal. Además, el gasto en salud en México ha sido históricamente bajo en comparación con otros países de América, situando al país por debajo de la media regional, lo cual se aprecia en la Figura 1 (siguiente página).

Figura 1. Gasto corriente en salud como % del Producto Interno Bruto.



Fuente: World Health Organization (WHO), Global Health Expenditure [base de datos en línea] <https://apps.who.int/nha/database/Select/Indicators/en>

El gasto público en salud, aunque limitado, presenta una distribución desigual. En primer lugar, los recursos asignados a las instituciones de seguridad social son significativamente mayores que los destinados a la población no asegurada, lo que refleja una disparidad en la protección social (Chertorivski-Woldenberg, 2011). Además, el proceso de descentralización de los servicios de salud en la década de 1990 no abordó adecuadamente la distribución equitativa de recursos entre las entidades federativas, perpetuando la inequidad en el acceso a los servicios de salud. Los recursos transferidos a los estados a través del Fondo de Aportaciones para Servicios de Salud (FASSA) han sido distribuidos en función de criterios que favorecen a las entidades con mayor infraestructura y capacidad instalada, sin un enfoque redistributivo suficiente (Cámara de Diputados, 2018).

Esta situación ha dejado a una gran parte de la población expuesta a gastos catastróficos en salud, especialmente en casos de enfermedades de alta especialidad y costo elevado, lo que ha provocado el empobrecimiento de las familias afectadas (O'Donnell *et al.*, 2008). En respuesta a estas inequidades, el enfoque en la salud ha evolucionado de ser considerado un simple derecho social y humano a ser visto como un tema de equidad ligado a la pobreza, reconociendo la salud como un factor determinante tanto de la mortalidad como del empobrecimiento (Laurell, 2013). Esto ha llevado al Gobierno mexicano a buscar ampliar la cobertura en salud, garantizar el derecho a la salud y proteger la economía de aquellos que no cuentan con acceso a servicios de salud adecuados.

Los esfuerzos mexicanos se han visto limitados por el alcance de los recursos con los que se cuenta y la distribución de los mismos. Ahora bien, necesitamos contrastar las políticas y sus problemas con los teóricos que sirven de base a la modelación de las políticas en cada país.

1.3. Visiones teóricas del bienestar

El enfoque teórico del bienestar social ha evolucionado desde el concepto de salud como mera ausencia de enfermedad hacia una perspectiva multifactorial que la define como un derecho humano esencial para alcanzar una vida plena. El desarrollo humano se presenta como un camino efectivo para ejercer este derecho, destacando que la salud es fundamental para que los individuos logren sus objetivos de vida.

La ciencia económica, profesionalizada hace poco más de un siglo, ha contribuido significativamente a la comprensión del bienestar social. Adam Smith, considerado uno de los padres de la economía, sentó las bases de la economía política, que se transformó rápidamente durante los siglos XVIII y XIX, alejándose de los empresarios para integrarse en la academia (Landreth y Colander, 2006). La economía del bienestar surge como una rama del

análisis económico enfocada en maximizar el bienestar social (Stanley y Randy, 2009). Vilfredo Pareto, con su «óptimo de Pareto», estableció que el bienestar máximo se alcanza cuando no es posible mejorar la situación de una persona sin empeorar la de otra (1945).

Arthur Cecil Pigou continuó desarrollando la teoría del bienestar, proponiendo que el gobierno intervenga para corregir desigualdades, como las diferencias entre costos privados y sociales (Pigou, 1932). Por otro lado, Ludwig von Mises criticó la capacidad de los regímenes socialistas para asignar eficientemente los recursos, argumentando que solo en un mercado libre se puede realizar un cálculo económico adecuado (Von Mises, 1935).

Finalmente, Kenneth Arrow y Amartya Sen abordaron las limitaciones de la elección social y del bienestar en contextos democráticos. Arrow con su teorema de la imposibilidad argumentó que ningún sistema de votación en una democracia puede reflejar de manera coherente y justa las preferencias individuales sin inconsistencias (Arrow, 1951). Amartya Sen amplió esta teoría al introducir la «justicia maximin», que prioriza mejorar las condiciones de los peores situados. Además, Sen criticó la exclusión de comparaciones interpersonales en la elección social, considerando que son cruciales para decisiones más justas (Sen, 1970). Su enfoque aporta una dimensión ética y busca maximizar el bienestar social, complementando la visión de Arrow sobre las limitaciones de la democracia en lograr el bienestar óptimo.

1.4. La teoría del bienestar y la sanidad

La evolución de la teoría del bienestar y su relación con la salud se ha desarrollado a lo largo del tiempo, con distintas aproximaciones según el contexto histórico y político. Esping-Andersen (1990) identifica tres tipologías principales de Estados del bienestar que tienen implicaciones directas en la salud pública: el Estado liberal, el conservador y el socialdemócrata. El Estado liberal, también conocido como residual, se caracteriza por proporcionar

programas de asistencia social limitados, dirigidos principalmente a la población de bajos ingresos. Estos programas suelen otorgar pocos beneficios, lo que lleva a una polarización social debido a la estigmatización de quienes reciben estos servicios. En este modelo, los servicios de salud tienden a ser básicos y de baja calidad, lo que obliga a las clases medias y altas a recurrir al sector privado, perpetuando así un ciclo de desigualdad en la calidad de los servicios.

El Estado conservador o paternalista se enfoca en la protección de los derechos e intereses sociales, a menudo a través de instituciones religiosas que organizan y apoyan a las familias. En estos sistemas, se evita la polarización social al proporcionar servicios más equitativos, aunque el acceso y la calidad de estos servicios pueden estar influenciados por factores como la afiliación religiosa o la clase social. Por último, el Estado socialdemócrata o universalista se distingue por su enfoque inclusivo, proporcionando servicios de salud de alta calidad y accesibles para toda la población, incluyendo las clases medias. Este modelo busca evitar la segregación entre quienes pueden pagar servicios privados y quienes dependen del Estado, promoviendo así una mayor cohesión social y una mejor calidad en la prestación de los servicios públicos (Benavides *et al.*, 2018).

La evolución de estas tipologías refleja cómo los Estados han adaptado sus políticas de bienestar para responder a las necesidades de sus ciudadanos, particularmente en el ámbito de la salud. Un hito en la historia de estas políticas es la implementación del seguro por vejez y enfermedad en Alemania en 1898, bajo el liderazgo de Otto von Bismarck, que sentó las bases para la seguridad social moderna. Estas medidas no solo buscaban mejorar el bienestar de los trabajadores, sino también consolidar la lealtad hacia el Estado, fortaleciendo así su base política (International Labour Office, 2010; Benavides *et al.*, 2018).

En las décadas siguientes, la teoría del desarrollo humano, impulsada por Amartya Sen, marcó un cambio significativo en la forma de entender

y medir el bienestar. A partir de los años 90, esta teoría surgió como una crítica al enfoque tradicional centrado en indicadores económicos, como el PIB, y propuso un enfoque más integrador que considera aspectos cualitativos como la equidad, la justicia y la libertad. Influenciada por las teorías estructuralistas y de dependencia de la CEPAL y por la teoría de la regulación francesa, esta nueva perspectiva dio lugar al Índice de Desarrollo Humano (IDH), que evalúa la salud, la educación y el ingreso como los tres pilares fundamentales del desarrollo (Gutiérrez y Picazzo, 2009; Picazzo *et al.*, 2011).

Sen argumenta que la salud es una libertad constitutiva e instrumental esencial para el desarrollo humano, no solo como un fin en sí mismo, sino como un medio que permite a las personas ejercer sus capacidades y alcanzar sus metas. La buena salud facilita la participación activa en la vida económica y social, lo que a su vez refuerza el bienestar individual y colectivo. Según Sen, una sociedad moderna y democrática debe considerar la salud como un derecho universal, indispensable para alcanzar el desarrollo integral de sus ciudadanos (Sen y Nussbaum, 1993; Sen, 1999).

2. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es analizar los determinantes sociales del bienestar sanitario en México entre 2001 y 2020, e identificar cuáles de los indicadores sanitarios estatales han contribuido significativamente a mejorar la salud pública. A través de un modelo de panel de datos de mínimos cuadrados dinámicos (DOLS), se busca evaluar la relación entre variables como la disponibilidad de médicos, el número de intervenciones quirúrgicas, el gasto público en salud y otros indicadores clave de acceso y eficiencia en los servicios de salud. Este estudio tiene como fin ofrecer recomendaciones basadas en evidencia para optimizar las políticas públicas en el sector sanitario, contribuyendo al bienestar social de la población.

2.1. Objetivos específicos

- 1) Determinar la significancia de las variables independientes seleccionadas en la explicación del índice de salud por entidad federativa.
- 2) Evaluar la cointegración de las variables en el largo plazo mediante pruebas econométricas de Pedroni y Westerlund.
- 3) Proponer recomendaciones para mejorar la inversión en recursos sanitarios, especialmente en áreas como la disponibilidad de médicos y la realización de intervenciones quirúrgicas.

3. El modelo de panel de datos

Los modelos de datos de panel ganaron popularidad en los años 80 debido a los avances tecnológicos que facilitaron la creación y gestión de grandes bases de datos. Estos modelos combinan datos de series temporales y de corte transversal, lo cual permite analizar la misma unidad de muestra a lo largo del tiempo, lo que proporciona una visión bidimensional: espacial y temporal. La dimensión estructural del modelo permite identificar diferencias individuales observables, mientras que la dimensión temporal capta las fluctuaciones a lo largo del tiempo, reduciendo problemas como la heterocedasticidad y la autocorrelación. La estructura básica de los Modelos de Datos de Panel (MDP) se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$y_{it} = x'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

Donde:

y_{it} es la variable dependiente para la unidad i en el tiempo t

x_{it} es el vector de variables explicativas

β es el vector de parámetros

ε_{it} son los errores aleatorios

Este enfoque es útil para evaluar políticas públicas y programas, ya que permite identificar efectos individuales y temporales, así como su interacción (Ramoni y Orlandoni, 2013). Las ventajas de los modelos de datos de panel incluyen la capacidad de considerar la heterogeneidad no observable, mejorar el aprovechamiento de la información, reducir el riesgo de colinealidad y estudiar dinámicas de ajuste y relaciones intertemporales. Además, estos modelos permiten identificar y cuantificar efectos no detectables con otros enfoques, como la comparación de situaciones antes y después de una intervención. A pesar de las limitaciones inherentes a cualquier muestra, como la cobertura, los datos faltantes y los sesgos temporales, los modelos de datos de panel ofrecen una precisión superior en las estimaciones al recoger información de micro unidades como individuos, firmas y hogares (Baltagi, 2005; Wooldridge, 2002).

3.1. Modelo de mínimos cuadrados dinámicos

Por otro lado, los Modelos de Mínimos Cuadrados Dinámicos (DOLS), propuestos por Stock y Watson (1993), se utilizan para especificar una relación a largo plazo entre una variable dependiente y una independiente. Este modelo asume que ambas variables están integradas de orden 1 y que el término de error es integrado de orden 0, lo que permite estudiar la relación a largo plazo. La fórmula básica del DOLS se expresa como:

$$\hat{y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_t + \hat{\delta} \sum_{j=-q}^r \Delta x'_{t+j} + \hat{u}_t$$

Donde:

$\hat{y}_t$ es la variable dependiente

β_0 y β_1 son los parámetros de largo plazo

x_t es la variable explicativa

$\Delta x'_{t+j}$ representa la variación de la variable explicativa en diferencias

u_t es el término de error

r y q son los adelantos y rezagos, respectivamente

Este modelo permite incluir variaciones de la variable explicativa en adelantos o rezagos para generar inferencias sobre la relación a largo plazo entre las variables. Esto es especialmente útil para realizar regresiones que expliquen la interacción entre las variables en estudios econométricos (Stock & Watson, 1993). Este estudio analiza variables de salud entre 2001 y 2020 en las 31 entidades federativas y la Ciudad de México. La variable dependiente y el índice de salud se calcularon según las directrices del PNUD. El índice de salud se basa en la esperanza de vida al nacer, que fue obtenida de los datos publicados en la página de internet de la Conapo (2020). Según el PNUD, los límites para la dimensión de salud son 85 años y 20 años. Con estos valores y la esperanza de vida al nacer, se calcula un índice que varía entre 0 y 1. Cuanto más cercano a 1, mayor es el valor de salud esperado para la región (PNUD, 2020).

Las variables explicativas, obtenidas del portal de la Secretaría de Salud de México (SSA, 2024), abarcan condiciones de salud, disponibilidad

y accesibilidad, eficiencia y sustentabilidad. Para condiciones de salud, se analizó la incidencia de desnutrición moderada y grave en menores de cinco años. En disponibilidad y accesibilidad, se consideró el número de médicos por cada mil habitantes. En eficiencia, se evaluaron las intervenciones quirúrgicas por mil habitantes y el promedio diario de consultas por médico. Finalmente, la sustentabilidad se midió mediante el gasto público en salud para la población asegurada como porcentaje del gasto público total.

4. Resultados

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis econométrico realizado mediante el modelo DOLS para evaluar la relación entre las variables seleccionadas y el índice de salud por entidad federativa. A continuación, se detallan los principales hallazgos.

4.1. Pruebas de raíces unitarias

El análisis inicia al aplicar las pruebas de raíces unitarias para determinar si las variables muestran estacionariedad. Los resultados se presentan en la Tabla 1, en la que se observan valores de probabilidad superiores a 0.05 en la mayoría de las pruebas, lo que indica que las variables no son estacionarias en niveles. Merece una mención específica la prueba de Hadri, que mostró valores de probabilidad de 0, lo que sugiere que se rechaza la hipótesis nula de estacionariedad, confirmando que las series no son estacionarias en niveles.

Tabla 1. Resultados de las Pruebas de Raíces Unitarias (Niveles)

Prueba	logISC		logIDMyGM5		logCircuXI1000		logCon_Med_Gen_Fami		logMed_GenyFamXI1000		logGto_Pob_Ase_Gto_To	
	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.
Levin-Lin-Chun	0.1579	0.5627	2.4775	0.9934	26.3080	1.0000	-0.8324	0.2026	-1.2870	0.0991	-0.1412	0.4439
Harris-Tzavalis	0.9145	0.9859	0.9637	1.0000	1.1442	1.0000	0.3487	0.0000	0.8298	0.1475	0.6245	0.0000
Breitung	2.1580	0.9845	8.0933	1.0000	-0.5208	0.3012	-4.9922	0.0000	4.3687	1.0000	-4.6256	0.0000
Im-Pesaran-Shin	2.4855	0.9935	6.1744	1.0000	13.3582	1.0000	-4.4308	0.0000	2.0754	0.9810	-1.6340	0.0511
Hadri	45.1728	0.0000	53.4967	0.0000	19.6604	0.0000	7.7781	0.0000	53.5872	0.0000	24.2646	0.0000

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

Posteriormente, se procedió a realizar las mismas pruebas en las primeras diferencias de las variables. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2, donde todas las pruebas indican que las series son estacionarias en primera diferencia. Esto confirma que las variables son integradas de primer orden, es decir, son I(1).

Tabla 2. Resultados de las Pruebas de Raíces Unitarias (Diferencias)

Prueba	logISC		logIDMyGM5		logCiruXI000		logCon_Med_Gen_Fami		logMed_GenyFamXI000		logGto_Pob_Ase_Gto_To	
	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.	Estad.	Prob.
Levin-Lin-Chun	-7.0440	0.0000	4.8122	1.0000	40.4134	1.0000	2.1710	0.9850	6.2346	1.0000	0.7572	0.7755
Harris-Tzavalis	0.0200	0.0000	-0.2227	0.0000	-0.0135	0.0000	-0.3382	0.0000	-0.0722	0.0000	-0.1592	0.0000
Breitung	-11.1240	0.0000	-4.0319	0.0000	3.8186	0.9999	-3.2322	0.0006	-3.6466	0.0001	-3.9033	0.0000
Im-Pesaran-Shin	-6.0305	0.0000	-7.0776	0.0000	10.0778	1.0000	-8.2784	0.0000	-6.9790	0.0000	-6.4978	0.0000
Hadri	-0.8724	0.8085	-0.9672	0.8333	10.2104	0.0000	-1.6318	0.9486	2.9115	0.0018	-2.0253	0.9786

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

4.2. Pruebas de cointegración

Una vez confirmado que las variables son $I(1)$, se llevaron a cabo pruebas de cointegración para determinar si las series presentan una relación de largo plazo. La prueba de cointegración de Pedroni, cuyos resultados se muestran en la Imagen 1, arrojó que los valores estadísticos son significativos, permitiendo rechazar la hipótesis nula de no cointegración y aceptar la hipótesis alternativa de que las variables están cointegradas en el largo plazo.

Figura 2. Resultados de la Prueba de Cointegración de Pedroni.

Pedroni test for cointegration		
Ho: No cointegration	Number of panels	= 32
Ha: All panels are cointegrated	Number of periods	= 19
Cointegrating vector: Panel specific		
Panel means:	Included	Kernel: Bartlett
Time trend:	Not included	Lags: 0.00 (Newey-West)
AR parameter:	Same	Augmented lags: 2
	Statistic	p-value
Modified variance ratio	-6.7022	0.0000
Modified Phillips-Perron t	2.7667	0.0028
Phillips-Perron t	-3.4278	0.0003
Augmented Dickey-Fuller t	-6.0768	0.0000

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

Adicionalmente, se realizó la prueba de Westerlund, cuyos resultados se observan en la Imagen 2, donde el P-valor de 0.0000 refuerza la conclusión de que existe cointegración en algunos de los paneles.

Figura 3. Resultados de la Prueba de Cointegración de Westerlund

Westerlund test for cointegration			
Ho: No cointegration	Number of panels	=	32
Ha: Some panels are cointegrated	Number of periods	=	20
Cointegrating vector: Panel specific			
Panel means:	Included		
Time trend:	Not included		
AR parameter:	Panel specific		
Cross-sectional means removed			
	Statistic	p-value	
Variance ratio	4.6867	0.0000	

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

Tras establecer que las variables son integradas de orden 1, se realizaron las pruebas de cointegración de Pedroni y Westerlund para determinar si existe una relación de largo plazo entre ellas. En la Tabla 3, se muestran los resultados de la prueba de Pedroni, en la cual todos los estadísticos presentan P-valores menores a 0.05, lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y se confirma la cointegración a largo plazo.

Tabla 3. Resultados de la Prueba de Cointegración de Pedroni

Concepto	Estadístico	Probabilidad
Relación de varianza modificada	-6.7022	0.0000
Estadístico t Modificado Phillips-Perron	2.7667	0.0028
Estadístico t Phillips-Perron	-3.4278	0.0003
Estadístico t Dickey-Fuller	-6.0768	0.0000

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

La Tabla 4 presenta la prueba de Westerlund, cuyos resultados también indican cointegración en algunos paneles, con un P-valor de 0.0000.

Tabla 4. Resultados de la Prueba de Cointegración de Westerlund

Concepto	Estadístico	Probabilidad
Relación de varianza	4.6867	0.0000

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16.

Se aprecia que ambas pruebas confirman una relación de largo plazo entre las variables, validando el modelo propuesto.

4.3. Modelo DOLS

Se aplicó el modelo DOLS para evaluar la significancia de las variables seleccionadas, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 5. El modelo muestra un R-squared de 0.8735 y un Adj R-squared de 0.8278, lo que indica una alta capacidad explicativa. Todas las variables resultaron significativas individualmente, con P-valores menores a 0.05, lo que confirma la relevancia de las mismas en la explicación del índice de salud por entidad federativa.

Tabla 5. Modelo Estadístico DOLS

R-squared = 0.8735			
Adj R-squared = 0.8278			
Variables	Coefficiente		Probabilidad
log_Des_5	-0.0101596		0.000
log_CiruX1000	0.0276331		0.000
log_Consultas	0.0222357		0.000
log_Med_GenX1000	0.0136705		0.000
log_Gto_Pob_Aseg	0.0081491		0.015

Fuente: Elaboración propia empleando el programa estadístico Stata 16, con la rutina de Diallo Ibrahima Amadou¹.

Nota: log_Des_5: Incidencia de desnutrición moderada y grave en menores de 5 años; log_CiruX1000: Intervenciones quirúrgicas por mil habitantes; log_Consultas: Promedio diario de consultas por médico general o familiar en contacto con el paciente; log_Med_GenX1000: Médicos generales y familiares por mil habitantes; log_Gto_Pob_Aseg: Gasto público en salud para población asegurada como porcentaje del gasto público total.

¹ El autor adaptó el procedimiento original de Kao y Chiang (2002) mediante el uso de la programación Mata de Stata, por lo que, los errores o imperfecciones que existieran en los cálculos son responsabilidad del autor.

4.4. Análisis de los Residuales del Modelo DOLS

El análisis de los residuales indica que estos están normalmente distribuidos, con un P-valor de 0.9158 (Tabla 6), cumpliendo así con los supuestos necesarios para validar el modelo.

5. Conclusiones

El análisis realizado mediante el modelo DOLS y las pruebas de cointegración confirman que existe una relación significativa y estable en el largo plazo entre las variables seleccionadas y el índice de salud por entidad federativa en México. Los resultados muestran que el número de médicos por cada mil habitantes y las intervenciones quirúrgicas son los determinantes más importantes en la mejora del bienestar sanitario. Este hallazgo resalta la necesidad de aumentar la inversión en estos rubros para fortalecer el sistema de salud.

Además, el gasto público en salud para la población asegurada también resulta significativo, lo que sugiere que las políticas públicas deben continuar enfocándose en la equidad y el acceso a servicios de salud. Los resultados de las pruebas de cointegración, tanto de Pedroni como de Westerlund, respaldan la existencia de una relación de largo plazo entre las variables, lo que refuerza la estabilidad del modelo propuesto.

En conclusión, los hallazgos de esta investigación subrayan la importancia de un enfoque integral en la planificación sanitaria, priorizando la disponibilidad de personal médico y la capacidad de realizar intervenciones quirúrgicas como pilares fundamentales para mejorar el bienestar sanitario en México.

6. Referencias

- Arrow, K. (1951). *Social Choice and Individual Values*. Yale University Press.
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data* (Third edition ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Banco Mundial. (1993). *Informe sobre el Desarrollo Mundial 1993. Invertir en Salud*. Banco Mundial.
- Benavides, F., et al. (2018). Estado del bienestar y salud pública, una relación que debe ser actualizada. *Gaceta Sanitaria*, 2(32), 193-197.
- Chertorivski-Woldenberg, S. (2011). Seguro Popular: logros y perspectivas. *Gaceta Medica de Mexico*, 147(6), 487-496.
- Conapo. (2 de Octubre de 2020). *Indicadores demográficos de México de 1950 a 2050*. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index_2.html#
- Declaración Universal de los Derechos Humanos. (10 de diciembre de 1948). ONU. *Adoptada y proclamada por la Asamblea General en su resolución 217 A (III)*.
- Esping-Andersen, G. (1990). *The Three Worlds of Welfare Capitalism*. Princeton University Press.
- Fierros, A. (2014). Concepto e historia de la salud pública en México (siglos XVIII a XX). *Gaceta médica de México*, 150(2), 195-199.
- Foucault, M. (1966). *El nacimiento de la clínica: una arqueología de la mirada médica*. (F. Perujo, Trad.). Siglo XXI editores.
- FUNSALUD. (2013). Universalidad de los servicios de salud en México. *Salud Pública de México*, 55, E3-E64.
- Gutiérrez, E. & Picazzo, E. (2009). La teoría del desarrollo humano y la propuesta del trabajo decente de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). En M. y. Ruíz, *Capital Humano del Siglo XXI: condiciones y estrategias para su desarrollo*. UANL/Tendencias Científicas.
- International Labour Office. (2010). *World Social Security Report 2010/11: providing coverage in times of crisis and beyond*. IOL.
- Laurell, A. (2013). *Impacto del seguro popular en el sistema de salud mexicano*.

- Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Leal , G. (enero-abril de 2013). ¿Protección social en salud? Ni “seguro”, ni “popular”. *Estudios políticos (novena época)*, 28, 163-193.
- Ley de Coordinación Fiscal. (30 de enero de 2018). Cámara de Diputados.
- López, O. (1996). La estrategia descentralizadora en una política social incluyente. En A. Laurell, *Hacia una Política Social Alternativa*. Fundación Ebert/Instituto de Estudios de la Revolución Democrática.
- O'Donnell, O., et al. (2008). *Analyzing Health Equity Using Household Survey Data*. World Bank Institute.
- OMS. (2005). *Subsanar las desigualdades en una generación: alcanzar la equidad sanitaria actuando sobre los determinantes sociales de la salud*. Ediciones Journal S. A.
- OMS. (2006). *Trabajar en pro de la salud*. Organización Mundial de la Salud. www.who.int/es
- OMS. (2008). *Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud Informe de la Secretaría*. 124ª Reunion, Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud, Ginebra.
- ONU Consejo Económico y Social. (11 de agosto de 2000). El derecho al disfrute del más alto nivel posible de salud: 11/08/2000. E/C.12/2000/4, CESCR OBSERVACION GENERAL 14. Ginebra, Suiza.
- Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. (16 de diciembre de 1966). ONU. *Adoptado y abierto a la firma, ratificación y adhesión por la Asamblea General en su resolución 2200 A (XXI)*.
- Pareto, V. (1945). *Manual of Political Economy*. (G. Cabanellas, Trad.). Atalaya.
- Picazzo, E., et al. (2011). La teoría del desarrollo humano y sustentable: hacia el reforzamiento de la salud como un derecho y libertad universal. *Estudios Sociales: Revista de investigación científica*, 19(37), 253-280.
- Pigou, A. (1932). *The Economics of Welfare* (2da. ed.). MacMillan.
- Porter, R. (2004). *Breve historia de la medicina: desde la antigüedad hasta nuestros días*. Taurus.
- Secretaría de Salud. (11 de Marzo de 1996). PROGRAMA de Reforma del

Sector Salud 1995-2000.

Sen, A. (1970). *Collective Choice and Social Welfare*. Elsevier.

Sen, A. (18 de Mayo de 1999). La salud en el desarrollo [ponencia]. 52 *Asamblea Mundial de la Salud-Organización Mundial de la Salud*, Ginebra, Suiza.

Sen, A. & Nussbaum, M. C. (1993). *La calidad de vida*. Fondo de Cultura Económica.

SSA. (01 de 02 de 2024). *Indicadores de resultado de los sistemas de salud*. <https://www.gob.mx/salud/documentos/indicadores-de-resultado-de-los-sistemas-de-salud>

Stanley, B. & Randy, G. (2009). *Historia del pensamiento económico* (7 a. ed.). (G. Meza, Trad.). Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

Staples, A. (2008). Primeros pasos de la higiene escolar decimonónica. En C. Agostoni, *Curar, sanar y educar. Enfermedad y sociedad en México, siglos XIX y XX* (pp. 17-42). Puebla: UNAM-IIH Benemérito Universidad Autónoma de Puebla.

Stock, J. & Watson, M. (July de 1993). A Simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. *Econometrica*, 61(4), 783-829.

Ulloa, O. (1996). Nueva ley del Seguro Social: la reforma previsional de fin de siglo. *El cotidiano*, 27-52.

Uribe, M. & Abrantes, R. (2013). Las reformas a la protección social en salud en México: ¿rupturas o continuidades? *Perfiles Latinoamericanos*, 135-162.

Von Mises, L. (1935). *Economic Calculation in the Socialist Commonwealth*. En F. Hayek, *Collective Economic Planning*. Routledge and Sons.

World Bank. (1987). *Financing health services in developing countries. An agenda for reform*. World Bank Policy Study.

La mecatrónica médica en el área de la fisioterapia: un caso de estudio

The medical mechatronics in the field of physiotherapy: a case study

Alonso Alejandro Jiménez Garibay¹  / Claudia Figueroa Padilla^{3,5}  / María Dayana Pérez Ledesma^{4,5}  / José Guadalupe Uriel Palacios Campos² 

¹ Tecnológico Nacional de México en Celaya, Dpto. de Ingeniería Mecatrónica

² Tecnológico Nacional de México en Celaya, Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Medicina

⁴ Universidad Autónoma de México, Facultad de Medicina

⁵ AMEFI Colegio Nacional de Fisioterapia y Terapia Física

Correspondencia: alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx

 ORCID ID: 0000-0001-5970-3841¹

Resumen: El área de fisioterapia enfrenta múltiples desafíos a nivel global, especialmente en la adherencia al tratamiento. Para abordarlos, se requiere de una colaboración multidisciplinaria que integre aspectos educativos orientados al paciente, metas personalizadas, innovaciones tecnológicas para la asistencia en casa, apoyo social y herramientas de telemedicina. Este artículo tiene como objetivo difundir las metodologías y experiencias en la investigación aplicada a la colaboración entre fisioterapeutas y la tecnología para desarrollar sistemas no invasivos que fortalezcan la rehabilitación en casa y promuevan la adherencia terapéutica. La metodología se centra en la integración de soluciones tecnológicas basadas en biopotenciales, que

aplica monitoreo no invasivo en el campo de la rehabilitación. Los avances incluyen el desarrollo de sistemas innovadores en fisioterapia que aplican mecatrónica médica. La colaboración entre la Asociación Mexicana de Fisioterapia y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica del TecNM en Celaya ha permitido abordar problemáticas como la lumbalgia en pacientes postrados y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad. Estos resultados destacan la importancia de la tecnología en el fortalecimiento de la rehabilitación y el aumento de la adherencia de los pacientes al tratamiento.

Palabras clave: rehabilitación; adherencia al tratamiento; innovación tecnológica; biopotenciales.

Abstract: The field of physiotherapy faces multiple global challenges, particularly in relation to treatment adherence. To address these challenges, a multidisciplinary collaboration is required, integrating patient-centered educational aspects, personalized goals, technological innovations for home assistance, social support, and telemedicine tools. This article aims to disseminate methodologies and experiences in applied research on the collaboration between physiotherapists and technology, to develop non-invasive systems that enhance home rehabilitation and promote therapeutic adherence. The methodology focuses on the integration of technological solutions based on biopotentials, applying non-invasive monitoring in the field of rehabilitation. The advancements include the development of innovative systems in physiotherapy, applying medical mechatronics. The collaboration between the Mexican Physiotherapy Association and the Master's in Mechatronics Engineering at TecNM in Celaya has enabled addressing issues such as low back pain in bedridden patients and attention deficit hyperactivity disorder. These results highlight the importance of technology in strengthening rehabilitation and increasing patient adherence to treatment.

Keywords: rehabilitation; treatment adherence; technological innovation; biopotentials.

1. Introducción

1.1. Objetivos de la investigación

La investigación tiene como objetivo principal desarrollar y difundir metodologías innovadoras que integren la tecnología con fisioterapia para mejorar la rehabilitación en el hogar y fomentar la adherencia de los pacientes al tratamiento. Se enfoca en la creación de sistemas no invasivos basados en biopotenciales, utilizando tecnologías de monitoreo remoto y asistencia a distancia, con un enfoque en la mecatrónica médica. Esta aproximación busca proporcionar soluciones tecnológicas accesibles tanto para pacientes como para profesionales de la salud, con el fin de optimizar los resultados terapéuticos.

El área de fisioterapia enfrenta desafíos significativos, principalmente en cuanto a la adherencia de los pacientes a los tratamientos prescritos. Factores como la falta de acceso a centros de rehabilitación, los altos costos y la carencia de seguimiento personalizado dificultan que muchos pacientes completen sus programas de recuperación. En México, estudios recientes señalan que aproximadamente el 50 % de los pacientes abandonan sus tratamientos fisioterapéuticos, comprometiendo así su recuperación y calidad de vida. Esta situación evidencia la necesidad de soluciones innovadoras que puedan ser aplicadas de forma eficaz en el ámbito doméstico.

El desarrollo de herramientas tecnológicas, como el monitoreo remoto y el uso de sistemas de telemedicina, se presenta como una solución fundamental para mejorar esta problemática. La investigación aborda, además, condiciones comunes como la lumbalgia en pacientes postrados y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, mediante un enfoque multidisciplinario que incorpora elementos educativos, sociales y tecnológicos para facilitar la rehabilitación en el hogar.

En el contexto mexicano, las enfermedades crónicas y las afecciones musculoesqueléticas, como la lumbalgia, afectan a una parte considerable

de la población. Datos de la Secretaría de Salud (2022) indican que más del 70 % de los adultos mayores de 50 años experimentan dolor de espalda, lo que ha incrementado la demanda de fisioterapia. Este escenario, combinado con la baja adherencia a los tratamientos, resalta la urgencia de desarrollar herramientas tecnológicas que hagan la rehabilitación más accesible y efectiva, promoviendo su recuperación y mejorando su calidad de vida.

2. Antecedentes y/o fundamento teórico

La adherencia al tratamiento en fisioterapia ha sido un desafío persistente a nivel global, y México enfrenta problemas similares. Diversos estudios han indicado que muchos pacientes no completan sus programas de rehabilitación debido a factores como el costo elevado, la falta de acceso a centros especializados y la ausencia de un seguimiento progresivo adecuado. En México, investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y la Secretaría de Salud han mostrado que alrededor del 50 % de los pacientes abandonan sus tratamientos fisioterapéuticos, lo cual impacta negativamente en su recuperación y en el sistema de salud en general.

Recientemente, los avances tecnológicos han comenzado a ofrecer soluciones prometedoras a estos problemas. La implementación de sistemas de monitoreo remoto y herramientas de telemedicina ha demostrado ser efectiva en otros campos de la salud, y se está explorando su aplicación en la fisioterapia. Estos sistemas permiten el seguimiento continuo y personalizado de los pacientes desde sus hogares, lo que podría transformar el enfoque tradicional de la rehabilitación.

La colaboración entre fisioterapeutas e ingenieros en mecatrónica ha sido crucial para el desarrollo de nuevas soluciones en este campo. Los esfuerzos conjuntos entre instituciones académicas y profesionales han llevado a la creación de sistemas no invasivos que utilizan biopotenciales para el monitoreo de la rehabilitación. Estos sistemas están diseñados para ofrecer

un seguimiento más accesible y efectivo, mejorando así la adherencia al tratamiento y los resultados terapéuticos.

El concepto de adherencia al tratamiento se basa en teorías del comportamiento del paciente y la gestión del tratamiento. La adherencia se define como el grado en que el comportamiento del paciente coincide con las recomendaciones del profesional de salud. La teoría de la autogestión de la salud sugiere que los pacientes que participan activamente en su cuidado y reciben el apoyo adecuado tienen una mayor probabilidad de seguir las recomendaciones de tratamiento.

El uso de tecnologías basadas en biopotenciales proporciona datos objetivos sobre el estado fisiológico del paciente, lo que permite un monitoreo detallado y preciso del progreso en la rehabilitación. La teoría de la bioingeniería respalda la integración de estos datos con tecnologías de comunicación para mejorar la precisión del seguimiento y facilitar una intervención temprana.

La mecatrónica médica, que combina principios de ingeniería mecánica, electrónica y de control, se basa en la teoría de sistemas y la automatización. Esta disciplina permite el desarrollo de dispositivos y sistemas que mejoran la funcionalidad y accesibilidad en la rehabilitación física. Los sistemas mecatrónicos, al integrar sensores avanzados y algoritmos de control, ofrecen una plataforma para el monitoreo remoto y la asistencia personalizada, contribuyendo a una rehabilitación más efectiva y a una mayor adherencia al tratamiento.

La mecatrónica médica ha transformado los procesos de fisioterapia a través de diversas aplicaciones innovadoras. Los sistemas de rehabilitación robótica asistida permiten a los pacientes interactuar con dispositivos robóticos que facilitan movimientos específicos, esenciales para la recuperación de la movilidad en casos de accidentes cerebrovasculares o lesiones graves. Estos sistemas proporcionan una rehabilitación precisa y personalizada.

Los dispositivos de monitoreo no invasivo, como los sensores de biopotenciales, son fundamentales para evaluar la actividad muscular en tiempo real, ofreciendo retroalimentación inmediata que facilita ajustes precisos en el tratamiento. Esta tecnología ayuda a los fisioterapeutas a seguir de cerca el progreso del paciente y a adaptar las intervenciones de manera efectiva.

Los exoesqueletos y prótesis inteligentes, controlados electrónicamente, brindan soporte y asistencia en los movimientos de personas con limitaciones físicas. Estos dispositivos no solo mejoran la movilidad, sino que también permiten una rehabilitación continua y más efectiva al asistir a los pacientes durante su recuperación.

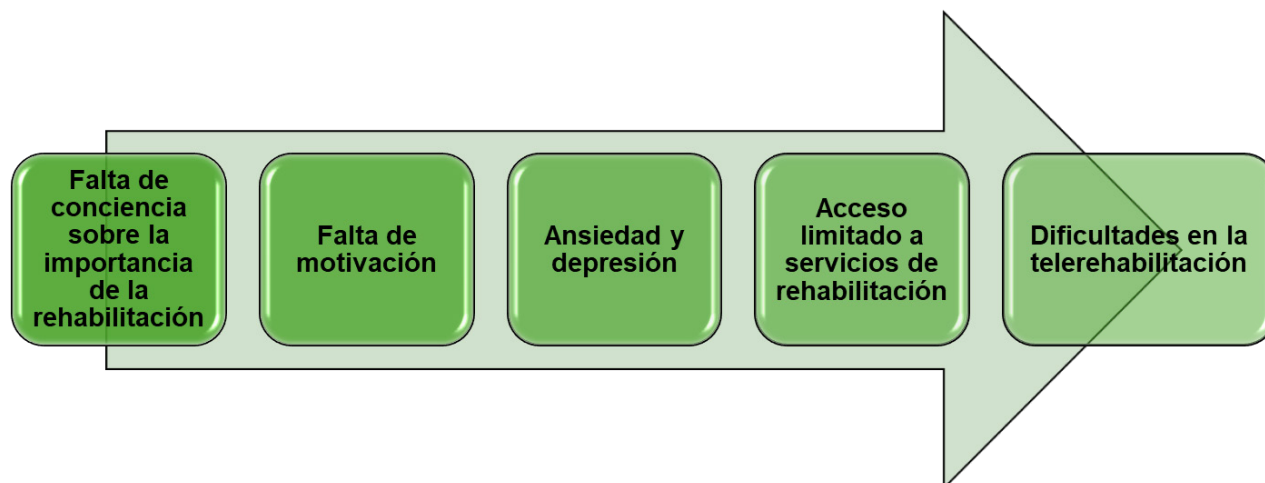
La realidad virtual aplicada en fisioterapia proporciona un entorno simulado para que los pacientes realicen ejercicios, lo que incrementa la motivación y permite una rehabilitación en un entorno controlado. Esta tecnología es especialmente útil para la rehabilitación cognitiva y motora en pacientes neurológicos.

Por último, los sensores de análisis de movimiento permiten una evaluación detallada de los patrones de movimiento del paciente. Estos sensores ayudan a identificar anomalías en el movimiento y a ajustar el plan de tratamiento, proporcionando retroalimentación cuantitativa precisa sobre la evolución del paciente.

3. Metodología

La adherencia al tratamiento es crucial para la efectividad de la fisioterapia, pero a menudo es baja debido a factores como la falta de motivación, tiempo limitado, barreras económicas y de comprensión sobre la importancia del tratamiento, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Principales problemáticas que fomentan de manera negativa la adherencia al tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

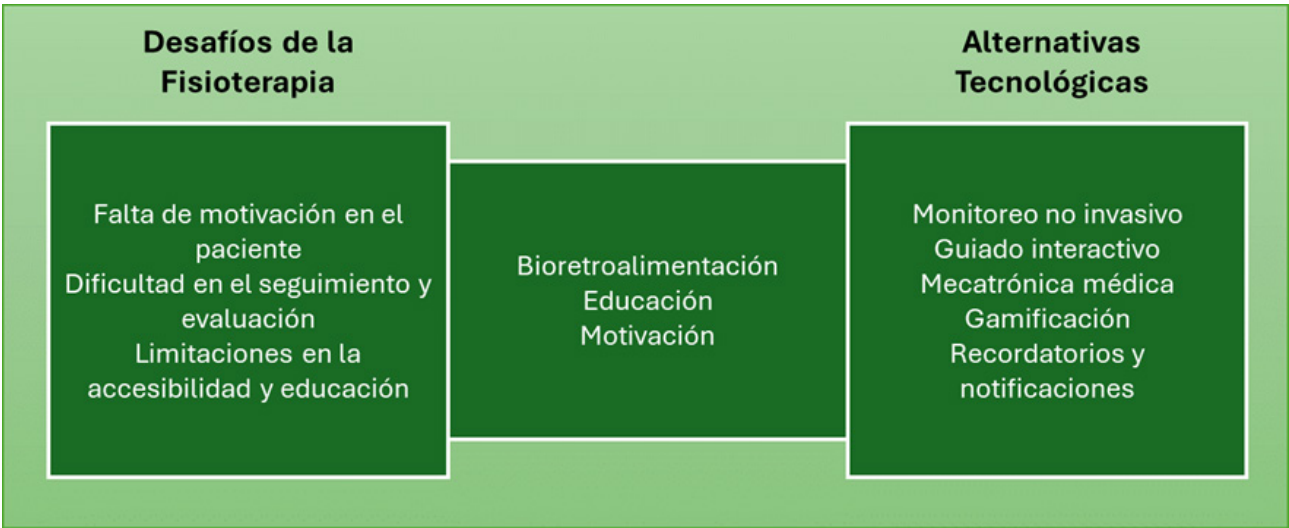
La educación de los pacientes es esencial en fisioterapia, ya que deben comprender la importancia de la terapia y cómo seguir correctamente los ejercicios y las recomendaciones. Sin una educación adecuada, los pacientes pueden realizar ejercicios incorrectamente o abandonarlos por completo. Además, cada uno tiene necesidades únicas según su condición médica, nivel de actividad física, edad y otros factores, lo que hace que la personalización del tratamiento sea fundamental para maximizar los resultados, aunque este proceso puede ser complejo y consumir tiempo. La integración de innovaciones tecnológicas también presenta desafíos. Aunque la tecnología puede mejorar significativamente la fisioterapia, su integración requiere la adquisición de equipos, capacitación del personal y aceptación por parte de los pacientes. La rehabilitación efectiva a menudo requiere la colaboración entre fisioterapeutas, médicos, psicólogos y otros profesionales de la salud, y coordinar estos esfuerzos puede ser complicado, pero es esencial para abordar todas las necesidades del paciente de manera integral.

La evaluación y el monitoreo del progreso del paciente son procesos continuos y esenciales en fisioterapia. Sin herramientas de monitoreo efec-

tivas, puede ser difícil evaluar con precisión y el progreso a tiempo, así como ajustar el tratamiento según sea necesario. La adherencia al tratamiento es vital no solo para la efectividad del tratamiento, sino también para la prevención de recaídas, optimización de recursos, satisfacción del paciente y el empoderamiento de este. Mantener una adherencia adecuada puede prevenir el empeoramiento de la condición tratada, reducir la necesidad de sesiones adicionales o tratamientos invasivos y aumentar la satisfacción del paciente al ver mejoras en su condición.

La Figura 2 presenta una metodología general centrada en los desafíos de la fisioterapia y alternativas tecnológicas de solución. Este artículo se enfoca en los resultados que impactan en los desafíos de falta de motivación y educación, con una propuesta de integración tecnológica de monitoreo no invasivo y mecatrónica médica, en búsqueda de una biorretroalimentación para el desarrollo de ingeniería aplicada para abordar problemáticas como la lumbalgia en pacientes postrados y el trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

Figura 2. Metodología general centrada en los desafíos de la fisioterapia y alternativas tecnológicas.



Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

La Figura 3 muestra los principales actores de la propuesta de colaboración multidisciplinaria. El primer resultado de esta experiencia profesional son los convenios específicos de colaboración entre la AMEFI y la Maestría en Ciencia en Ingeniería Mecatrónica del TecNM en Celaya, con ello se formalizan los trabajos y se definen autorías de productos científicos, así como los participantes. Cabe mencionar que un proceso anterior es la definición de la problemática de campo y el comienzo del diseño de la alternativa de solución tecnológica. Estos convenios tienen vigencia de dos años por proyecto específico, alineándose a los requisitos de duración de estudios de posgrado.

Figura 3. Principales actores de la propuesta de colaboración multidisciplinaria.



Fuente: Elaboración propia.

Para la siguiente fase, es necesaria la asesoría de profesionales en el ámbito de normatividad en el sector salud. En específico, con la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), definida como una

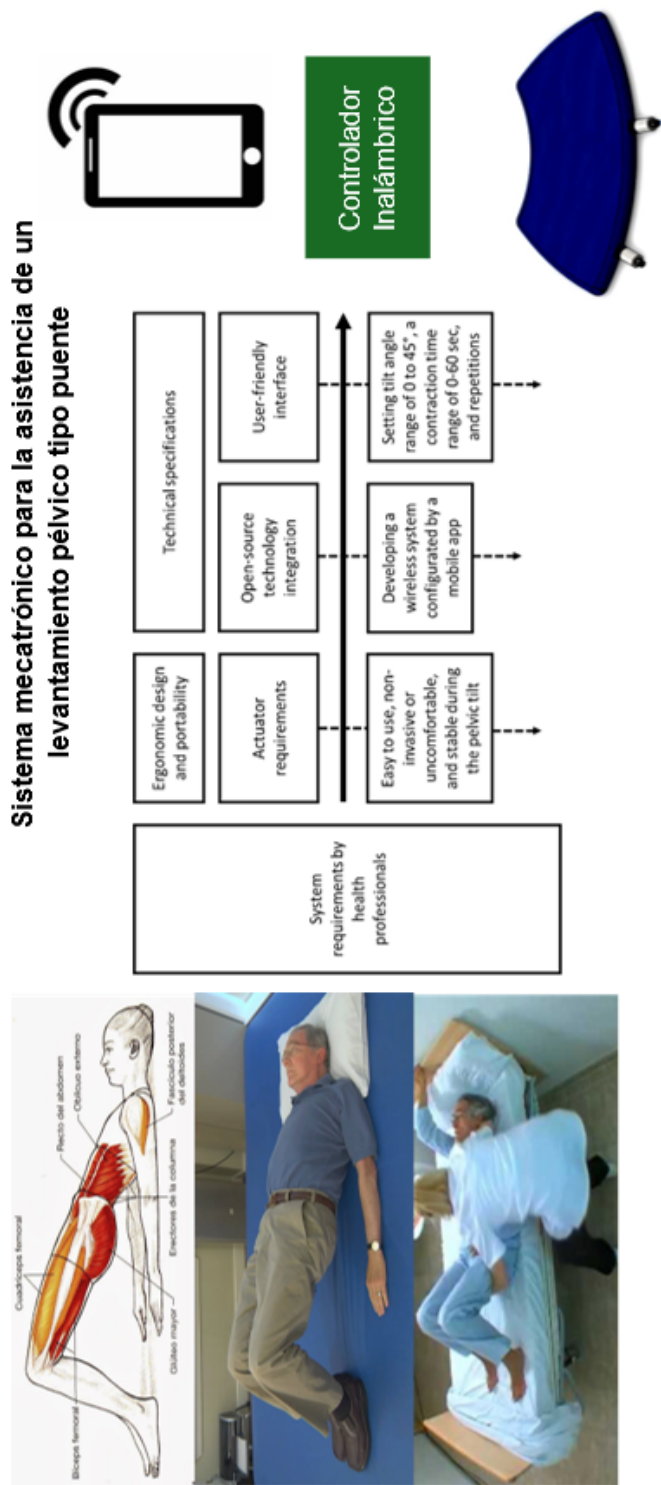
agencia gubernamental en México encargada de regular y supervisar la seguridad de productos y servicios en el ámbito de la salud, incluyendo medicamentos, alimentos, dispositivos médicos y servicios de salud.

Por último, se requiere el aval de un comité de bioética. En México, Conbioética se dedica a la regulación y supervisión de actividades relacionadas con la biotecnología. Este comité evalúa y proporciona recomendaciones sobre proyectos, investigaciones y desarrollos en biotecnología, asegurando que cumplan con las normativas y estándares establecidos. Su objetivo es promover la investigación y el desarrollo en el campo de la biotecnología, garantizando que las prácticas sean seguras, éticas y beneficiosas para la salud y el medio ambiente.

Este escenario colaborativo pretende desarrollar alternativas tecnológicas que se orienten a fomentar la adherencia al tratamiento del paciente mediante la biorretroalimentación durante la rehabilitación en casa.

Con respecto a los resultados prácticos de la colaboración, en este momento se tienen dos prototipos. El primero de ellos, Figura 4, se refiere a una herramienta alternativa en fisioterapia para combatir la lumbalgia en pacientes postrados. Este desarrollo se basa en la asistencia durante un ejercicio de terapia denominado levantamiento pélvico tipo puente. El prototipo cuenta con una almohadilla neumática controlada y configurada inalámbricamente en tres variables: ángulo de inclinación o levantamiento, tiempo de contracción y número de repeticiones mediante una aplicación móvil.

Figura 4. Sistema mecatrónico para la asistencia de un levantamiento pélvico tipo puente.



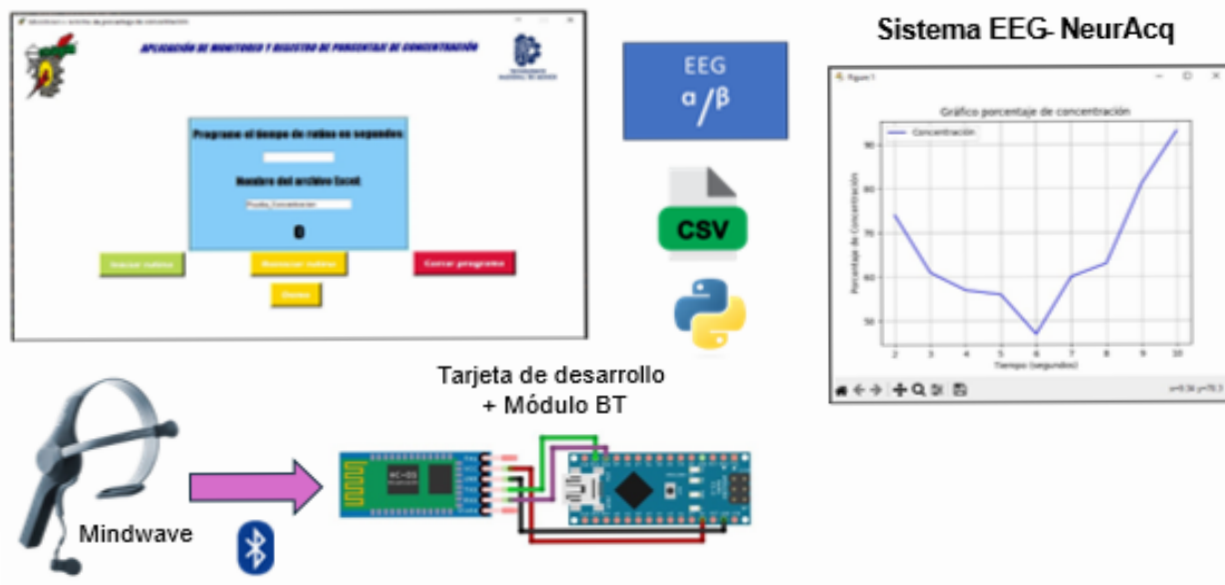
Fuente: Elaboración propia.

El segundo de ellos, Figura 5, es un prototipo de adquisición *open-source* de señal encefalográfica, en este caso mediante una diadema no invasiva de un solo sensor. Este desarrollo no pretende generar un diagnóstico, la orientación es monitorear la actividad cerebral frontal asociada al enfoque.

El prototipo se encuentra en pruebas de laboratorio, con un sujeto de prueba, para realizar una validación a través de un protocolo de investigación avalado éticamente. Este desarrollo pretende ser útil en sesiones de pruebas de enfoque en pacientes diagnosticados con trastorno de déficit de atención e hiperactividad. Debido a que podría complementar las sesiones de consulta utilizando la duración de la prueba, la observación del profesional y un vector de enfoque con su correspondiente tendencia gráfica.

El prototipo se basa en el uso de la diadema conectada inalámbrica-mente a un desarrollo *open-source* mediante una interfaz gráfica. El sistema permite observar la tendencia del gráfico y el almacenamiento de los datos.

Figura 5. Sistema de adquisición EEG como herramienta para sesiones de enfoque en pacientes con TDAH.



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Los desarrollos derivados de la colaboración multidisciplinaria presentados en este artículo han permitido la obtención de varios productos tecnológicos y científicos. Tal como la participación en la Cumbre Nacional de Desarrollo Tecnológico de Investigación y Desarrollo, registros de propiedad intelectual, publicaciones, convenios específicos y ponencias en congresos nacionales e internacionales. Sin embargo, el objetivo fundamental de la colaboración está centrado en el paciente. En la actualidad se están sometiendo los protocolos a un comité ético para evaluar la efectividad del desarrollo en un caso de estudio, en concordancia con los actores protagónicos del proceso del impacto de un producto en una rehabilitación en casa.

6. Referencias

Asociación Mexicana de Fisioterapia-AMEFI Colegio Nacional de Fisioterapia y Terapia Física. (2024). <https://www.amefi.com.mx/> <https://www.amefi.com.mx/>

7. Bibliografía

- Bispo, J. P. (2021). La fisioterapia en los sistemas de salud: marco teórico y fundamentos para una práctica integral. *Salud Colectiva*, 17, e3709. <https://doi.org/10.18294/sc.2021.3709>
- Correa, J. E. (2018). Bases de la medición y evaluación fisioterapéutica desde una perspectiva positivista. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 1(1), 12. <https://doi.org/10.30788/RevColReh.v1.n1.2002.221>
- Guzmán-González, J. M. (2016). Presente y futuro de la rehabilitación en México. *Cirugía y Cirujanos*, 84(2), 93-95. <https://www.amc.org.mx>
- Mantilla, J. I. (2022). Monitorización y periodización del rendimiento desde la fisioterapia deportiva: ¿Hacia dónde vamos? *Revista Interna-*

- cional de Ciencias del Deporte*, 11(2), 31-43. <https://doi.org/10.24310/ric-cafd.2022.v11i2.14741>
- Suárez Bonilla, X. y Rodríguez Pérez, M. E. (2022). Surgimiento de la fisioterapia en México a partir de la rehabilitación durante el siglo XX. *Investigación en educación médica*, 11(43). <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2022.43.22426>
- Szabo, D. A., y Neagu, N. (2023). The role and importance of using sensor-based devices in medical rehabilitation: A literature review on the new therapeutic approaches. *Sensors*, 23(21), 8950. <https://doi.org/10.3390/s23218950>
- WebPT. (2018). *Improving home exercise program adherence in physical therapy*. WebPT. <https://www.webpt.com>
- World Physiotherapy. (2019). *Relaciones entre fisioterapeutas y otros profesionales de la salud: Declaración de posición*. <https://world.physio/sites/default/files/2021-05/PS-2019-Relationship-health-professionals-Spanish.pdf>
- Yu, Y., et al. (2024). Technologies for non-invasive physiological sensing: Status, challenges, and future horizons. *Biosensors and Bioelectronics*: X, 16, 100420. <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2023.100420>

Función de los neutrófilos en la pérdida del implante dental en pacientes con periimplantitis

Role of neutrophils in dental implant loss in patients with peri-implantitis

Erika Jazmín Rangel Yebra¹  / Luis Roberto Galaviz Lozano¹  / Mireille Santamaría Herrera²  / Mayemi Pamela Santiago Martínez³  / María Teresa Zermeño Loredó¹  / Ismael Secundino³ 

¹ Universidad La Salle Bajío, Facultad de Odontología, Posgrado en Prosthodontia e Implantología, León, Guanajuato

² Universidad La Salle Bajío, León, Guanajuato

³ Universidad La Salle Bajío, Facultad de Odontología, León, Guanajuato

Correspondencia: isecundino@lasallebajio.edu.mx

Resumen: La enfermedad periimplantaria es una patología inflamatoria que afecta a los tejidos que rodean un implante dental. En la fase inicial de la enfermedad, denominada mucositis periimplantaria, se presenta una inflamación reversible del tejido conectivo que rodea al implante. Esta etapa es seguida de una fase tardía llamada periimplantitis, en la cual se observa una respuesta inflamatoria crónica que ocasiona la destrucción del hueso alveolar que soporta al implante dental. Los signos clínicos de periimplantitis son: supuración, sangrado y una bolsa peri-implantaria ≥ 6 mm. Se desconocen los mecanismos celulares a través de los cuales la enfermedad periimplantaria progresa de mucositis a periimplantitis. El propósito del presente proyecto es caracterizar a las células responsables de la enfermedad periimplantaria,

y así entender los mecanismos involucrados en la inflamación y destrucción del hueso alveolar. Para ello, se analizaron tres grupos de pacientes: 1) individuos con salud periimplantar; 2) pacientes con mucositis periimplantaria; 3) pacientes con periimplantitis. Se determinaron los parámetros clínicos de los pacientes, como lo son la profundidad de la bolsa, el sangrado, la supuración y la pérdida ósea. Se obtuvo el fluido crevicular periimplantario y se caracterizaron las células inmunes mediante los anticuerpos anti-CD45, anti-CD15 y anti-CD66b, mediante citometría de flujo. Se encontró un predominante infiltrado de neutrófilos CD66b⁺ en el fluido crevicular periimplantario de los pacientes con periimplantitis. Se observó un bajo porcentaje de neutrófilos CD66b⁺ en los pacientes con mucositis, mientras que no se detectaron células CD66b⁺ en los individuos sanos. Los neutrófilos CD66b⁺ de los pacientes con periimplantitis presentaron una alta expresión de los biomarcadores de activación CD11b y CD64, indicando un fenotipo de células hiperreactivas. Estos hallazgos sugieren que los neutrófilos CD66b⁺ son las principales células responsables del proceso inflamatorio acelerado en los pacientes con periimplantitis.

Palabras clave: enfermedad periimplantaria; periimplantitis; mucositis; implante dental; CD11b; CD64.

Abstract: Peri-implant disease is an inflammatory pathology that affects the tissues surrounding a dental implant. In the initial phase of the disease called peri-implant mucositis, a reversible inflammation of the connective tissue surrounding the implant occurs. This stage is followed by a late phase called peri-implantitis, in which a chronic inflammatory response is observed that causes the destruction of the alveolar bone that supports the dental implant. Clinical signs of peri-implantitis are suppuration, bleeding, and a peri-implant pocket ≥ 6 mm. The cellular mechanisms through which peri-implant disease progresses from mucositis to peri-implantitis are unknown. The purpose of this project is to characterize the cells responsible

for peri-implant disease and, thus, understand the mechanisms involved in the inflammation and destruction of alveolar bone. For this, three groups of patients were analyzed: 1) individuals with peri-implant health, 2) patients with peri-implant mucositis, 3) patients with peri-implantitis. The clinical parameters of the patients were determined, such as pocket depth, bleeding, suppuration and bone loss. The peri-implant crevicular fluid was obtained and the immune cells were characterized using anti-CD45, anti-CD15 and anti-CD66b antibodies by flow cytometry. A predominant infiltrate of CD66b+ neutrophils was found in the peri-implant crevicular fluid of patients with peri-implantitis. A low percentage of CD66b+ neutrophils was observed in patients with mucositis, while no CD66b+ cells were detected in healthy individuals. CD66b+ neutrophils from patients with peri-implantitis presented a high expression of the activation biomarkers CD11b and CD64, indicating a phenotype of hyperreactive cells. These findings suggest that CD66b+ neutrophils are the main cells responsible for the accelerated inflammatory process in patients with peri-implantitis.

Keywords: periimplantar disease; peri-implantitis; mucositis; dental implant; CD11b; CD64.

1. Introducción

1.1. Objetivos de la investigación

- Analizar la composición de células inmunes del fluido crevicular periimplantario.
- Determinar el nivel de activación de las células inmunes del fluido crevicular periimplantario.

2. Antecedentes y/o fundamento teórico

Varias enfermedades bucales se han identificado como resultado de afecciones inflamatorias que dañan el tejido blando que rodea los dientes (encía) y las estructuras de soporte (ligamentos periodontales y hueso alveolar). Entre ellas está la mucositis periimplantaria, que es una lesión inflamatoria reversible de la encía que rodea un implante dental sin pérdida del hueso alveolar de soporte (Heitz-Mayfield *et al.*, 2018). Cuando se presenta pérdida ósea, la enfermedad recibe el nombre de periimplantitis (Schwarz *et al.*, 2018).

El diagnóstico de la mucositis periimplantaria se basa en el sangrado y signos visuales de inflamación al sondeo, además hay presencia de eritema, hinchazón y supuración de la bolsa, sin pérdida del hueso alveolar (Heitz-Mayfield *et al.*, 2018). En cambio, el diagnóstico de periimplantitis se basa en signos más severos de inflamación, como lo son la profundidad de la bolsa periimplantaria ≥ 6 mm, acompañada de pérdida ósea ≥ 3 mm (Schwarz *et al.*, 2018). La incidencia de mucositis periimplantaria es del 30.7 %, la incidencia de periimplantitis es del 9.6 % (Atieh *et al.*, 2013). Los principales indicadores de riesgo que favorecen el avance de periimplantitis son: tabaquismo, periodontitis, presencia de enfermedades sistémicas (Schwarz *et al.*, 2018). Al eliminar la placa dentobacteriana, se controla la mucositis periimplantaria (Heitz-Mayfield *et al.*, 2018). Si no se elimina la biopelícula dental, la inflamación incrementa, promoviendo que la respuesta inmune ocasione la pérdida ósea periimplantar, favoreciendo el desarrollo de periimplantitis (Schwarz *et al.*, 2018). Se asume que la mucositis periimplantaria precede a la periimplantitis.

El tratamiento de la mucositis periimplantaria consiste en el abordaje no quirúrgico, como la eliminación de la placa dentobacteriana, además de citas de seguimiento cada cinco o seis meses. El uso de pastas con triclosán, gel de clorexhidina (CHX), pastas fluoradas, aeroabrasión con carbonato de sodio coadyuva en la reducción de la acumulación de la placa dentobacteriana. El tratamiento de la periimplantitis consiste en la descontaminación

del implante mediante ácido cítrico, ácido etildiaminotetra acético (EDTA), peróxido de hidrógeno, o bien el empleo de láser. Dependiendo de la valoración, el tratamiento para la periimplantitis puede incluir un abordaje quirúrgico, como abrasión del implante, levantamiento del colgajo, cirugía resectiva, implantoplastia (Rokaya *et al.*, 2020).

La periimplantitis se considera una enfermedad inflamatoria crónica asociada a la infección, en la cual predominan las células plasmáticas, linfocitos T, neutrófilos y macrófagos (Rokaya *et al.*, 2020).

3. Metodología (método, técnica e instrumentos)

El presente estudio es experimental, descriptivo y transversal. La población de estudio fueron pacientes a quienes se les colocaron implantes dentales, recibidos en la Especialidad de Prostodoncia e Implantología en la Universidad La Salle Bajío en León, Guanajuato; presentan signos y síntomas relacionados con alguna patología periimplantaria. El método de muestreo fue no probabilístico por disponibilidad. El presente proyecto cuenta con la aprobación del Comité de Bioética 001-190219-FO.

El tamaño de la muestra arrojó una $n=26$ para el grupo de mucositis y una $n=15$ para el grupo de periimplantitis. Los resultados preliminares se dividieron en tres grupos de pacientes: 1) individuos con salud periimplantar ($n=, 10$); 2) pacientes con mucositis periimplantaria ($n=, 2$); 3) pacientes con periimplantitis ($n=, 6$).

Los parámetros clínicos de los pacientes obtenidos fueron: profundidad de bolsa, sangrado, supuración, pérdida ósea. Se recuperó el líquido crevicular periimplantario con la ayuda de puntas de 20-50 μl , el cual se depositó en un tubo con medio RPMI (Roswell Park Memorial Institute) con antibióticos; se realizaron cinco lavados en total y se mantuvieron las muestras a 4 °C hasta el momento de su procesamiento. Para la caracterización del infiltrado de células inmunes, se emplearon los anticuerpos anti-CD45, an-

ti-CD15 y anti-CD66b. Para la determinación de los biomarcadores de activación se emplearon los anticuerpos anti-CD11b, CD62L y CD64, los cuales se expresan posteriormente a la activación de las células inmunes. La caracterización y presencia de los biomarcadores de activación se realizó mediante citometría de flujo.

4. Resultados

CD66b⁺ es una proteína que se expresa constitutivamente en neutrófilos humanos, esto permite diferenciarlo de otras células inmunes. A través de la presencia de células CD66b⁺, se encontró un infiltrado predominante de neutrófilos CD66b⁺ en el fluido crevicular periimplantario de muestras de pacientes con periimplantitis con expresión elevada de los biomarcadores de activación CD11b y CD64. La presencia de neutrófilos CD66b⁺ se observó en menor proporción en la muestra de pacientes con mucositis. El análisis del fluido crevicular periimplantario de individuos sanos mostró una ausencia de neutrófilos CD66b⁺.

5. Conclusiones

Los neutrófilos CD66b⁺ se infiltraron predominantemente en el líquido crevicular periimplantario de implantes dentales con periimplantitis, lo cual puede estar correlacionado con la destrucción del tejido periimplantar y la pérdida progresiva del hueso alveolar, aspecto que estudia actualmente.

Además, se observaron neutrófilos CD66b⁺ en menor medida en muestras de mucositis periimplantaria. En las muestras sanas, hay ausencia de neutrófilos CD66b⁺.

Por último, los neutrófilos CD66b⁺ mostraron una alta expresión de CD11b y CD64, lo que sugiere una hiperreactividad de los neutrófilos en la enfermedad periimplantaria.

6. Referencias

- Atieh, M. A., *et al.* (2013). The frequency of peri-implant diseases: a systematic review and meta-analysis. *J Periodontol*, 84(11), 1586-1598. doi: 10.1902/jop.2012.120592.
- Heitz-Mayfield, L. J. A. y Salvi, G. E. (2018). Peri-implant mucositis. *J Clin Periodontol*, 45(20). doi: 10.1111/jcpe.12953
- Heitz-Mayfield, LJ, y Salvi, GE (2018). Mucositis periimplantaria. *Revista de periodontología clínica*, 45, S237-S245. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12953>
- Rokaya, D., *et al.* (2020). Peri-implantitis Update: Risk Indicators, Diagnosis, and Treatment. *Eur J Dent*, 14(4), 672-682. doi:10.1055/s-0040-1715779
- Schwarz, F., *et al.* (2018). Peri-implantitis. *J Clin Periodontol*, 45, S246-S266. doi: 10.1111/jcpe.12954.

7. Bibliografía

- Dahlstrand, R., *et al.* (2021). El subconjunto de neutrófilos definido por la expresión de CD177 se recluta preferentemente en el líquido crevicular gingival en la periodontitis. *Journal of Leucocyte Biology*, 109(2), 349-362. <https://doi.org/10.1002/JLB.3A0520-081RR>
- Ghghi, M., *et al.* (2018). Differences between inflammatory and catabolic mediators of peri-implantitis and periodontitis lesions following initial mechanical therapy: An exploratory study. *Journal of periodontal research*, 53(1), 29-39. <https://doi.org/10.1111/jre.12483>
- Gul, S. S., *et al.* (2020). Precisión diagnóstica del perfil de biomarcadores de fluidos orales para determinar el estado actual y futuro de las enfermedades periodontales y periimplantarias. *Diagnostics*, 10(10), 838. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10100838>
- Hickey, M. J. y Kubes, P. (2009). Inmunidad intravascular: el encuentro huésped-patógeno en los vasos sanguíneos. *Nature reviews immunology*, 9(5), 364-375.

Área

Educación

Análisis de la literacidad crítica en estudiantes de segundo semestre a partir de un taller de escritura creativa en el semestre enero-junio 2024

Analysis of critical literacy in second-semester students from a creative writing workshop in the January-June 2024 semester

José Antonio García Páramo 

Universidad Autónoma Nacional de México, ENES UNAM LEÓN

Correspondencia: agarciap@enes.unam.mx

 ORCID ID: 0000-0003-0586-541X

Resumen: Este estudio cualitativo, con enfoque descriptivo y alcance exploratorio, tiene como objetivo comprender el desarrollo de la literacidad crítica a partir de las experiencias del alumnado tras un taller de escritura creativa desarrollado en la materia de apreciación del Arte y Estética, durante el semestre enero-junio 2024, en la Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León. A lo largo del curso de la materia se implementaron estrategias de escritura creativa para fomentar la creatividad del estudiante, se incorporó la inteligencia artificial (IA) como herramienta para mejorar su ortografía, gramática y capacidad crítica, a través de *prompts* específicos, con el fin de aumentar la calidad literaria y escrita. Asimismo, se realizó un cuestionario abierto para conocer las experiencias de los estudiantes sobre el uso ético de la inteligencia artificial, sus alcances, así como dificultades en la materia.

Palabras clave: literacidad crítica; inteligencia artificial; escritura creativa; nivel medio superior.

Abstract: This qualitative study, with a descriptive approach and exploratory scope, aims to understand the development of critical literacy based on the experiences of students, after a creative writing workshop developed in the subject of Art Appreciation and Aesthetics, during the January-June 2024 semester at the Centro Histórico León High School. Throughout the course of the subject, creative writing strategies were implemented to foster student creativity, incorporating artificial intelligence (AI) as a tool to improve their spelling, grammar and critical ability, through specific prompts, in order to increase literary and written quality. Likewise, an open questionnaire was conducted to learn about students' experiences on the ethical use of artificial intelligence, its scope and difficulties in the course.

Keywords: critical literacy; artificial intelligence; creative writing; high school level.

1. Introducción

Hoy en día, las tecnologías han acercado el conocimiento a la sociedad. Se puede decir que el ser humano ha cambiado su visión del mundo a partir de la interacción con lo digital y, dentro de este tipo de experiencias, se encuentra la literacidad digital que, para Cassany (2005), es aquel conocimiento y habilidad que puede manejar el código y género escrito en función de su discurso y los roles que asumen tanto el lector como el autor. Es así que el uso de internet en adolescentes y jóvenes demanda un proceso cognitivo necesario para obtener un proceso crítico de lo que leen y escriben en la red; esto último es prioritario en la presente investigación.

El acto de escribir es prioritario para el ser humano, al igual que la lectura, pues a través de estas dos habilidades comunicativas descubre el mundo. Sin embargo, la práctica escrita en las escuelas debe formar procesos más críticos, así lo refiere Hernández-Zamora (2016), quien señala el

proceso de leer y escribir en la universidad como actividades fundamentales de aprendizaje y construcción de conocimiento en todas las asignaturas; por ello es necesario que cada profesor reflexione sobre sus prácticas de lectura y escritura.

Lo anterior enfatiza un rigor académico. Sin embargo, es un trabajo complejo que demanda la atención del maestro hacia el trabajo del alumno, ya que la revisión ortográfica y gramatical exige tiempo, cuidado, rigor y esfuerzo, a fin de mejorar los procesos de lectoescritura.

De esta manera, el estudiante construye un texto a partir de las experiencias escolares que le demande el profesor en el aula. Así reafirma sus procesos cognitivos de escritura y lectura crítica. Para Aguirre (2022) es necesario realizar lecturas proactivas en las que el estudiante asuma una lectura holística y compleja. No obstante, el rol del docente es fundamental en esta actividad.

Las y los estudiantes necesitan estrategias didácticas que ayuden a desarrollar, detonar y explorar su capacidad de lectura crítica y escritura creativa, elementos que los conducirán a la literacidad crítica.

Este proyecto comienza con algunas estrategias didácticas que promueven el desarrollo creativo y el uso ético de la inteligencia artificial, con el fin de impactar la literacidad crítica.

En primer lugar, se abordará la escritura creativa y sus alcances. Para Álvarez (2014), esta es un proceso generador de ideas nuevas, orientado al desarrollo del conocimiento a través de la escritura, en combinación con los juegos sobre el pensamiento divergente propuestos por De Bono. De manera similar, Labarthe y Vásquez (2016) afirman que la escritura, ficticia o no, es aquella que trasciende los límites de la escritura profesional, periodística, académica y técnica.

Asimismo, Myers (1993) asegura que escribir creativamente permite que el practicante, estudiante o aprendiz conozca el género literario y tenga

prácticas significativas que lo ayuden a desarrollar su creatividad. En segundo lugar, Cassany y Casstellà (2010) definen la literacidad crítica como el uso del conocimiento sobre diferentes tipos de discursos, así como su función y su alcance en el auditorio; además abarca la lectura, escritura y oralidad. Ferreira, Villalba y Ulloa (2018) señalan que una de las funciones de la literacidad crítica es formar lectores críticos capaces de profundizar en varios elementos del texto y en su intención comunicativa.

Finalmente, se implementó un taller de escritura creativa en el que se usó inteligencia artificial. Se usó la aplicación ChatGPT¹ como herramienta de apoyo para verificar gramática, ortografía y crítica literaria. Esta estrategia permitirá al estudiante explorar sus percepciones sobre el uso ético de la IA y formar su autopercepción de capacidad creativa y literaria a fin de llegar a una reflexión crítica del proceso.

2. Objetivos de la investigación

Comprender el desarrollo de la literacidad crítica a partir de las experiencias del alumnado luego de un taller de escritura creativa desarrollado en la materia de apreciación del Arte y Estética durante el semestre enero-junio 2024, en la Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

Esta investigación surge luego de analizar el programa de estudios de la asignatura Estética y Apreciación del Arte² del programa de Bachillerato General de la Universidad de Guanajuato, en el cual se observó la necesidad de valorar diferentes expresiones y manifestaciones humanas como producto de una historia compartida y culturalmente diversa, a fin de que el alum-

¹ Inteligencia artificial generativa de textos creada por la empresa OpenAI en 2021.

² https://www.ugto.mx/colecionms/images/planes_estudio/2020/actualizacion/2semestre/Esttica_y_Apreciacin_del_Arte.pdf

nado detone su sensibilidad y creatividad para entenderse a sí mismo, a los otros y lo otro. Como resultado de este análisis, se decidió implementar un trabajo de escritura creativa, con apoyo de inteligencia artificial para corregir ortografía, juicio literario y gramática, tal y como lo proponen Blanco y Jiménez (2024).

La literacidad crítica es una necesidad en el proceso educativo actual. Trejo (2019) refiere que la literacidad digital abarca un proceso en el que la escritura y la lectura se complementan para poder crear y comunicar en la sociedad del conocimiento.

Actualmente, la literacidad reitera que los procesos de escritura y lectura no deben continuar haciéndose como se llevaban a cabo en años anteriores, como lo apunta Santillán (2024). Ahora bien, el uso ético de la inteligencia artificial enfatiza la importancia de orientar al estudiante para desarrollar su habilidad creativa y crítica en la realización de un texto.

Para esta asignatura se optó por crear un cuento, con el objetivo principal de promover el uso ético de la inteligencia artificial para evitar la deshonestidad y la mala práctica en el desarrollo del pensamiento crítico y la creatividad, en referencia a García-Peñalvo (2024).

4. Metodología

La presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo de carácter exploratorio y descriptivo sobre las experiencias de aprendizaje de los estudiantes de segundo semestre de bachillerato de la Escuela de Nivel Medio Superior Centro Histórico León (ENMSCHL).

Los cuentos del taller de escritura creativa se escribieron a partir de dos microcuentos: *Llamada* de Fredric Brown³ y *Celosa* de Amanda Nerea Sandoval⁴; además de los cuentos, tenían como opción escribir microrrelatos.

³ Escritor estadounidense (1906-1972) de ciencia ficción y misterio.

⁴ Es una escritora emergente, cuyo perfil en Instagram es «Palabra herida»: <https://www>.

Sus creaciones debían cumplir con las siguientes características: incluir figuras literarias, como el *flashback*, e implementar un estilo pintoresco o pintoresquismo (de acuerdo con Logan y Logan (1980), la narración es pintoresca si tiene color, es gráfica, objetivamente descriptiva o sugiere una imagen).

Tuvieron libertad para escoger la estructura narrativa, ya sea la discursiva *ad-ovo* (inicio, desarrollo y final), *in medias res* (en el asunto o tema principal) o *in extrema res* (por el final), con el objetivo de explorar sus habilidades de composición escrita.

Asimismo, se enfatizó a los alumnos el uso ético de la inteligencia artificial. García-Peñalvo, Llorens-Largo y Vidal (2024) recalcan que es el ser humano el que manipula la IA generativa. Esto significa que los estudiantes deben valorar el uso práctico de este tipo de herramientas para generar ideas, imágenes, trabajos, tareas, etc. De esta manera, pueden ayudar a reducir el tiempo de generación de contenido. Llevar al aula esta práctica ética significa mejorar el aprendizaje colaborativo; como bien menciona Lugo (2023), la inteligencia artificial contribuirá a una incidencia social significativa en el futuro. Por ello, se debe orientar al estudiante para que construya un uso crítico y ético de la inteligencia artificial en sus trabajos escolares.

Para la presente investigación se llevaron a cabo seis sesiones para crear un cuento creativo. Durante una sesión se explicó el uso de ChatGPT para generar textos. Desde sus celulares, ingresaron al sitio <https://chatgpt.com> y escribieron la siguiente indicación: «Realiza un cuento con 5000 caracteres a partir del microcuento *El dinosaurio* de Augusto Monterroso, con narración en primera persona y que tenga un desenlace abierto».

Luego de la instrucción anterior, la inteligencia artificial elaboró el siguiente texto⁵:

Cuando desperté, el dinosaurio todavía estaba allí. Mis ojos, al principio borrosos, se enfocaron lentamente en la inmensa criatura que dominaba la habitación. A lo largo de mi vida, había leído sobre ellos, visto sus esqueletos en museos e incluso soñado con ellos de niño. Pero nada me había preparado para la presencia de uno real, vivo y respirando frente a mí. Su piel era rugosa, moteada de sombras verdes y marrones, y sus ojos, dos esferas inmensas y antiguas, me observaban con una curiosidad casi humana...⁶.

Los estudiantes observaron lo fácil que resultó hacer esta consigna. Sin embargo, se reiteró que era una forma rápida de generar un relato, aunque antiética, cuyo trabajo resultaba ser poco creativo. Asimismo, se recurrió a un identificador de inteligencias artificiales, el ZeroGPT⁷, que se observa en la Figura 1.

⁵ Este resultado lo obtuvo el profesor en el salón de clases, el cual se compartió a través del proyector o cañón que tenía, los estudiantes tuvieron otro resultado, la intención fue observar y analizar las similitudes y diferencias en las historias.

⁶ Cuento creado por ChatGPT en mayo del 2024, luego del prompt definido por el profesor del curso.

⁷ Es una herramienta antiplagio diseñada a partir de recursos de IA para detectar trabajos realizados por las IAs más comunes como ChatGPT, entre otras.

Figura 1. Detector de inteligencia artificial.



Cuando desperté, el dinosaurio todavía estaba allí. Mis ojos, al principio borrosos, se enfocaron lentamente en la inmensa criatura que dominaba la habitación. A lo largo de mi vida, había leído sobre ellos, visto sus esqueletos en museos, e incluso soñado con ellos de niño. Pero nada me había preparado para la presencia de uno real, vivo y respirando frente a mí. Su piel era rugosa, moteada de sombras verdes y marrones, y sus ojos, dos esferas inmensas y antiguas, me observaban con una curiosidad casi humana.

Intenté moverme, pero mis músculos estaban rígidos, probablemente por el tiempo que había pasado inconsciente. No recordaba cómo había llegado aquí, ni cuánto tiempo había estado dormido. Lo último que recordaba era haberme acostado en mi cama, en mi pequeño apartamento de la ciudad, después de un día agotador de trabajo. ¿Qué clase de sueño era este? ¿O era acaso algo más?

Fuente: Elaboración propia.

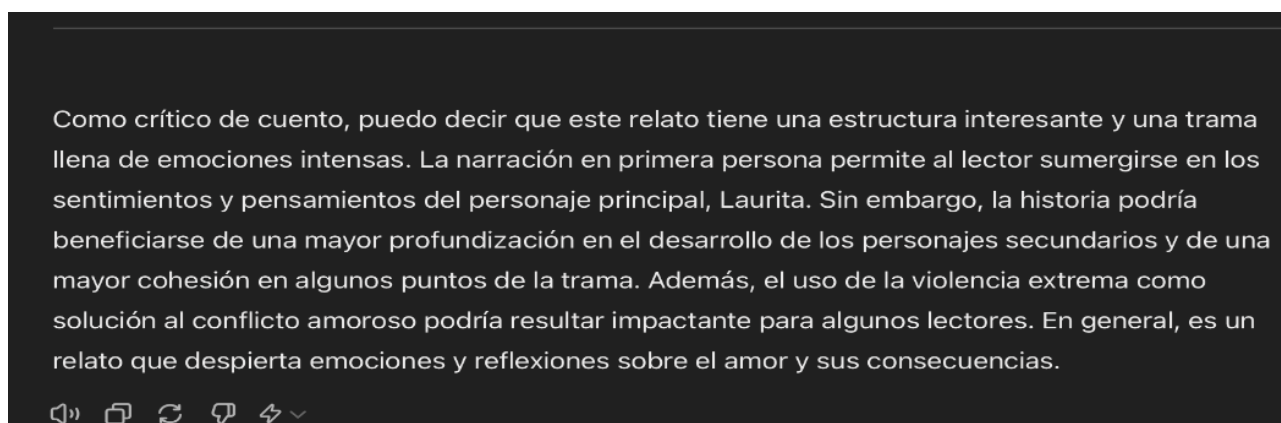
Con este texto, los estudiantes reflexionaron acerca de la inteligencia artificial y sus alcances. Asimismo, el docente remarcó que hay herramientas para detectar este tipo de prácticas. Así, los alumnos comprendieron que deben esforzarse por usar la IA de la mejor manera. Al interesarse en el tema, debatieron estrategias para evitar el detector de inteligencia artificial, como hacer trabajos escritos con faltas ortográficas, hacer el cuento con IA y cambiar frases para hacerlas «más humanas», entre otras.

En este sentido, el docente, al conocer sus propuestas e inquietudes, les advirtió que podían usar la IA. No obstante, el contenido generado con esta debía ser de 10 % o menos para que su trabajo final fuera calificado.

Como resultado de lo anterior, las y los alumnos se esforzaron por evitar estas prácticas; además vieron cómo usar ChatGPT con criterio (por ejemplo, para mejorar su ortografía y gramática). «Esta tecnología es una herramienta que sirve para obtener una retroalimentación instantánea y una solución potencial durante el proceso de redacción» (Blanco y Jiménez, 2024).

Posteriormente, trabajaron con el siguiente prompt⁸: «Corrige ortografía y gramática del siguiente texto y califícalo como si fueras crítico de cuento». La retroalimentación se puede observar en la Figura 2.

Figura 2. Resultado del prompt de corrección ortográfica y crítica literaria.



Fuente: Elaboración propia.

Los estudiantes notaron que, en segundos, la herramienta corrigió su cuento y los retroalimentó con críticas que los ayudaron a corregir su historia, con ello pudieron asumir una postura crítica y hacer cambios de acuerdo con su experiencia. Es en este proceso en el que se refleja la capacidad de su pensamiento creativo y crítico.

Después, los estudiantes compartieron sus historias en la plataforma de Wattpad⁹, con la intención de buscar mínimo cinco lectores para sus historias y que pudieran criticar su historia en cuanto a ortografía, trama, historia y final; para esto tuvieron que evidenciar los comentarios de su trabajo (Figura 3).

⁸ El guion de instrucciones que queremos que realice ChatGPT, Hernández, Alarcón, Leal, Chua y Niño (2024).

⁹ Wattpad es una plataforma online de lectura y escritura. En ella los creadores publican novelas, relatos, artículos, poemas, blogs, fanfics y muchos otros géneros literarios que los usuarios leen de forma gratuita.

Figura 3. Reseñas de cuentos.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra un análisis de la trama de los relatos, que sirvió para la autopercepción del estudiante; además pudieron ver si les gustó o no a sus lectores. Cada uno de los comentarios los motivó para seguir escribiendo y, a su vez, leerse entre sí.

Después, el estudiante subió su trabajo a un portafolio digital para ser evaluado por el docente. El curso de escritura creativa finalizó con el envío de un cuestionario de preguntas abiertas que pedían describir la experiencia sobre la crítica del uso de la inteligencia artificial y sus aprendizajes luego del curso.

El cuestionario se envió por Forms de Office por la facilidad de llevar un registro por medio de la cuenta institucional. El objetivo de esta actividad fue conocer las experiencias de los estudiantes con el diseño de su cuento creativo con ayuda de IA. El análisis de su literacidad crítica se detona al comprender la forma del discurso, las características del cuento y conocer el tipo de narrador de su historia.

5. Resultados

Se eligieron 33 respuestas por medio de una muestra al azar aleatoria hasta llegar al punto de saturación para validarlas. En este proceso, se observaron preguntas que analizaran el uso o la falta de inteligencia artificial, así como los desafíos que los estudiantes enfrentaron en el curso para desarrollar su escritura creativa (Véase imagen 4).

Figura 4. Extracto del cuestionario.

4. ¿Usaste inteligencia artificial para este proceso creativo?, explica a detalle su uso y de qué manera te funcionó. *

Sí, utilicé inteligencia artificial, usé chatgpt para ayudarme a corregir mi ortografía para poder entregar un trabajo de calidad.

5. Luego del uso de la inteligencia artificial en algún proceso de creación para este trabajo ¿Qué conclusiones tienes al respecto?, explica. *

Par mí el haber usado inteligencia artificial solo para corregir mi texto, fue un poco complicado, ya que, después en el detector de IA, me daba un porcentaje alto a pesar de no haberla usado para crear el cuento.

6. ¿Qué desafíos enfrentaste durante el proceso de escritura y cómo los superaste? *

Mi primera complicación fue la creatividad e imaginación, tuve que pasar unos días imaginando y pensando lo que tenía que escribir, los escenarios que pasarían, diálogos, ya que es de bastante imaginación el poder hacer todo eso. Y nuevamente mi complicación al usar IA para corregir mi texto, ya que luego me lo detectaba como plagio y no era así.

Fuente: Elaboración propia.

Dado lo anterior, se observa que la estudiante 30¹⁰ usó inteligencia artificial para corregir su texto, como se le indicó durante el curso, pero se enfrentó a varios desafíos que pudo resolver gracias a su capacidad creativa.

¹⁰ Estudiante 3 de 33 entrevistados.

Además, se obtuvieron respuestas en las que el estudiante visualizó su capacidad escrita y literacidad crítica al contestar las siguientes preguntas:

1. La historia que generaste, ¿qué tipo de narrador contiene?, ¿por qué lo hiciste con ese tipo de narrador?
2. ¿Qué técnicas literarias utilizaste para transmitir tus ideas (por ejemplo, metáforas, simbolismo, estructura narrativa)?

Los estudiantes respondieron ambas preguntas conforme a su conocimiento literario y, al explicarlas, desarrollaron su propia literacidad¹¹.

Los estudiantes utilizaron ChatGPT como una alternativa para concluir trabajos o consignas por ellos mismos, sin realizar una intervención crítica antes de la intervención docente. Sin embargo, una vez finalizado el proceso, realizaron una reflexión sobre su uso ético y se apoyaron para su redacción, gramática y crítica literaria (Lugo, 2023; Blanco y Jiménez, 2024). La escritura creativa fue un proceso que detonó el pensamiento creativo, invitó al estudiante a vincularlo con la literacidad crítica, ya que sin tener conocimientos literarios lo motivó a desarrollar su capacidad inventiva y escrita¹².

6. Conclusiones

Se observó que los estudiantes se esforzaron por obtener escritos con calidad a partir de la presentación del proyecto y sus objetivos. Asimismo, fue suficiente este taller para que cada alumno y alumna pudieran resolver un problema, que en este caso fue la consigna de un trabajo final en la asignatura de Estética y Apreciación del Arte, en segundo semestre de bachillerato. La mayoría de las y los estudiantes evitaron el plagio de textos mediante el uso de ChatGPT, al aprovechar la corrección ortográfica y gramatical proporcionada por esta herramienta, como lo mencionan Blanco y Jiménez (2024).

¹¹ Véase anexo 2.

¹² Véase Anexo 1.

Tras la intervención docente, se observó que el uso del detector de inteligencia artificial ZeroGPT orientó al estudiantado sobre el uso ético de la inteligencia artificial. Esta actividad permitió que los alumnos usaran ChatGPT no como generador de ideas, sino como ruta de mejora en su composición escrita para su proceso creativo y escrito.

Asimismo, los alumnos percibieron que usar inteligencia artificial mejora la cohesión y la coherencia textual, las cuales pueden verse limitadas. Al compartir sus experiencias, el grupo de estudiantes valoró que el uso de la inteligencia artificial fomentó una práctica colaborativa significativa entre el ser humano y la IA.

Para finalizar, con este análisis se pretende incursionar en más procesos formativos y creativos para que los estudiantes, además de obtener un aprendizaje significativo, formulen escenarios donde la tecnología les ayude a solucionar problemas cotidianos complejos.

7. Referencias

- Aguirre, E. O. (2022). La (meta) ficción y la parodia como escritura creativa: La enseñanza-aprendizaje de una literacidad crítica. *HUMAN REVIEW. International Humanities Review/Revista Internacional de Humanidades*, 13(2), 1-13.
- Álvarez, M. (2014). Propuesta didáctica basada en las técnicas de Gianni Rodari y los Juegos de Edward de Bono para la producción de textos literarios creativos. *Revista de Comunicación de la SEECI*, 0(33), 117-131. <https://doi.org/10.15198/seeci.2014.33.117-131>
- Blanco, R. y Jiménez, O. R. (2024). *Chat GPT: una herramienta que apuesta por la mejora de la escritura creativa de textos narrativos en estudiantes de sexto grado* [Doctoral Dissertation, Corporación Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/40032380-bc1c-4ecd-bd4d-4f4db542cd32>

- Cassany, D. (2005, August). Investigaciones y propuestas sobre literacidad actual: multiliteracidad, internet y criticidad. *Conferencia presentada en Congreso Nacional Cátedra UNESCO para la lectura y la escritura*, Universidad de Concepción.
- Cassany, D., y Casstellà, J. (2010). Aproximación a la literacidad crítica literacidad. *Perspectiva*, 28(2), 353-374.
- Sachi, J., et al. (2018). Laboratório de Escrita Criativa. UNILA, 2018. <https://dspace.unila.edu.br/items/518ce2f2-1ed1-45c6-bb82-e6c7a0c21127>
- García-Peñalvo, F. J. (2024). Inteligencia Artificial Generativa en la Educación Superior: Una Perspectiva de 360 [conferencia]. *IFE Conference 2024*, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, Nuevo León.
- García-Peñalvo, F. J., et al. (2024). La nueva realidad de la educación ante los avances de la inteligencia artificial generativa. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 9-39.
- Hernández, M. A. S., et al. (2024). El uso del prompt de ChatGPT como asistente en la educación. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(28).
- Hernández-Zamora, G. (2016). Literacidad académica. *Universidad Autónoma Metropolitana*.
- Logan y Logan. (1980). *Estrategias para una enseñanza creativa*. Editorial OI Kostau S. A.
- Lugo Sánchez, L. J. (2023). Inteligencia artificial en la academia. *Acta Médica Costarricense*, 65(3), 111-112.
- Myers, D. G. (1993). The Rise of Creative Writing. *Journal of the History of Ideas*, 54(2), 277-297. <https://doi.org/10.2307/2709983>
- Santillán, S. K. L. (2024). La importancia de la literacidad: un aprendizaje permanente para la vida. *Revista Neuronum*, 10(2), 221-240.
- Trejo, J. L. A. (2019). La literacidad digital en la disciplina académica. *Consejo Mexicano de Investigación Educativa A. C.*

Anexo 1

Guion de preguntas:

<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=cZgrEyXgrU6jTXvV56OD-tKsbW0KGTbFMn54gOyvF3x9UNEdZTVdCSFRPUERLTktSWDU4UEM1TkE3Uy4u>

Anexo 2

Alumno 6

8. ¿Qué técnicas literarias utilizaste para transmitir tus ideas (por ejemplo, metáforas, simbolismo, estructura narrativa)? *

Descripciones detalladas
Flashbacks
Diálogo
Contraste emocional

10. La historia que generaste ¿Qué tipo de narrador contiene?, ¿Por qué lo hiciste con ese tipo de narrador? *

Omnisciente.
El narrador que más me gusta leer y porque considero es más fácil.

Alumno 21

8. ¿Qué técnicas literarias utilizaste para transmitir tus ideas (por ejemplo, metáforas, simbolismo, estructura narrativa)? *

Descripciones detalladas
Flashbacks
Diálogo
Contraste emocional

10. La historia que generaste ¿Qué tipo de narrador contiene?, ¿Por qué lo hiciste con ese tipo de narrador? *

Omnisciente.
El narrador que más me gusta leer y porque considero es más fácil.

Alumno 29

8. ¿Qué técnicas literarias utilizaste para transmitir tus ideas (por ejemplo, metáforas, simbolismo, estructura narrativa)? *

Use en algunos momentos diálogos junto con la narración

10. La historia que generaste ¿Qué tipo de narrador contiene?, ¿Por qué lo hiciste con ese tipo de narrador? *

El narrador es parte de la historia, lo hice así para que el lector viera como iba decayendo el como persona y su estado mental

Área

***Ingenierías
y
tecnologías***

Instrumentación y evaluación de un sistema de celda de carga para secador rotatorio con acondicionamiento de señal aplicando un sistema difuso

Instrumentation and evaluation of a load cell system for rotary dryer with signal conditioning applying a fuzzy system

Juan Manuel Tabares Martínez ¹  / Adriana Guzmán López ²  / Micael Gerardo Bravo Sánchez²  / Coral Martínez Nolasco ³  / Juan José Martínez Nolasco ⁴  / Alejandro Israel Barranco Gutiérrez ⁴ 

¹ Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Departamento de Posgrado e Investigación (DEPI)

² Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Departamento de Ingeniería Bioquímica e Ingeniería Ambiental

³ Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Departamento de Ingeniería Mecatrónica

⁴ Tecnológico Nacional de México (TecNM); Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Departamento de Ingeniería Electrónica

Correspondencia: juan.tabares@itcelaya.edu.mx

ORCID ID  : 0009-0000-2437-4451¹

ORCID ID  : 0009-0002-8862-2957²

ORCID ID  : 0000-0003-3083-4172³

Resumen: La búsqueda de soluciones innovadoras para la medición precisa de peso, así como la tecnología de sensores y sistemas de control, han desempeñado un papel fundamental en la evolución y aplicación de técnicas de instrumentación. Las técnicas para mediciones precisas de peso son fundamentales en la manufactura, productos de atención médica y automatización industrial. En este entorno, la elección de componentes accesibles y la aplicación de técnicas avanzadas de acondicionamiento de señal se vuelven decisivas para garantizar mediciones confiables y precisas. Este proyecto detalla la instrumentación y optimización de un sistema de medición de peso que utiliza Arduino como plataforma central. Las galgas extensiométricas, conocidas por su alta sensibilidad, se emplean como sensores primarios.

La parte central de esta investigación es la integración de un sistema de acondicionamiento de señal basado en lógica difusa desarrollado en MATLAB y programado en Arduino. El sistema difuso aplicado en el análisis de la señal de la galga extensiométrica se adapta automáticamente a las condiciones variables del entorno, permitiendo correcciones en tiempo real y mejorando la precisión de las mediciones que respaldan su viabilidad y demuestran su potencial en una amplia gama de aplicaciones de medición de peso.

Palabras clave: galgas extensiométricas; MATLAB; Arduino; lógica difusa.

Summary: The constant search for innovative solutions for accurate weight measurement, sensor technology and control systems have played a fundamental role in the evolution and application of instrumentation techniques. Techniques for accurate weight measurements are critical in manufacturing, healthcare products, and industrial automation. In this environment, the choice of affordable components and the application of advanced signal conditioning techniques become decisive to ensure reliable and accurate measurements. This project details the instrumentation and optimization of a weight measurement system that uses an Arduino as a central platform.

Strain gauges, known for their high sensitivity, are used as primary sensors. The central part of this research is the integration of a signal conditioning system based on fuzzy logic developed in MATLAB and programmed in Arduino. The fuzzy system applied in strain gauge signal analysis automatically adapts to varying environmental conditions, allowing real-time corrections and improving measurement accuracy, supporting its feasibility and demonstrating its potential in a wide range of applications of weight measurement.

Keywords: strain gauges; MATLAB; Arduino; Fuzzy logic.

1. Introducción

La falta de control y de monitoreo directo en tiempo real de la pérdida de peso de un producto en un proceso de deshidratación mediante un secador rotatorio ocasiona pérdidas monetarias y de energía. Esto ocurre debido a que se producen errores de medición cuando se detiene el proceso para pesar el producto. Además, ocasionan retrasos al detener el proceso de secado para realizar los pesajes, y como consecuencia se genera una absorción de humedad de las muestras al estar expuestas al ambiente.

Esta investigación surge de la necesidad de cuantificar en tiempo real la pérdida de peso de un alimento dentro de un secador rotatorio. Para ello, se enfoca en la creación de un sistema de celdas de carga con una instrumentación que aprovecha las ventajas de la plataforma de Arduino y la precisión de las galgas extensiométricas y la calibración con lógica difusa. Además, el acondicionamiento de señales es esencial para garantizar mediciones precisas. La implementación de un sistema difuso convierte a un sistema de celdas de carga en un elemento confiable para monitorear el peso de un pro-

ducto de forma directa y en tiempo real. Lo anterior permite la rectificación de imprecisiones y la optimización de precisión de las mediciones. El uso de sistemas difusos en el campo de la metrología ofrece la posibilidad de enfrentar los desafíos vinculados a las mediciones de peso, como las variaciones en las condiciones ambientales y los cambios en la carga a medir. Esta aproximación inteligente permite que el sistema se ajuste automáticamente, mejorando la estabilidad y la precisión de las mediciones. La metodología desarrollada en esta investigación contribuirá significativamente al avance de la metrología en nuevas perspectivas para la implementación de sistemas de mediciones de peso inteligentes, económicos y confiables.

2. Objetivos de la investigación

El propósito principal de este estudio fue diseñar e instrumentar un sistema de celda de carga aplicado en un secador rotatorio para prolongar la durabilidad y calidad de alimentos, mediante el monitoreo en tiempo real de la pérdida de peso del producto en el momento en el que se reduce significativamente el contenido de humedad con un sistema de medición inteligente, económico y con acondicionamiento de señal, con lógica difusa. Para lograr este objetivo de investigación fue necesario especificar el diseño, el funcionamiento y la capacidad del equipo que se utilizará en el sistema de celda de carga.

Además, se investigaron y analizaron los sistemas de acondicionamiento de señal para galgas extensiométricas, y se seleccionó el más conveniente según el proceso. También, se diseñó el código de programación para el procesamiento de los datos de las galgas extensiométricas en lenguaje C, con la tarjeta Arduino. A la par se creó un método de medición calibrado con un sistema difuso, mediante un código de programación en Arduino y diseñado en MATLAB, empleando un compilador Arduino FIST para convertir en lenguaje C. Se diseñó una arquitectura para la comunicación entre un puente

Wheatstone y el módulo amplificador HX711, que permite realizar el proceso de conversión de datos analógicos a digitales, para garantizar mediciones de alta precisión y manejo de los datos en tiempo real.

Posteriormente, se implementó una herramienta de monitoreo instantáneo de los valores obtenidos en las mediciones, que permite al operador supervisar el peso del producto secado mediante el uso de indicadores visuales. Por último, se evaluó el funcionamiento del sistema de la celda de carga mediante un estudio en laboratorio (experimental), determinando el porcentaje de error en las mediciones obtenidas.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

En el sistema de celda de carga se usa la aplicación de un sistema difuso para la calibración de señal de las galgas extensiométricas. La práctica del sistema difuso, desarrollado en un *toolbox* de MATLAB y compilado en Arduino, proporciona una rápida linealización de las señales de los resultados de la galga extensiométrica. En el desarrollo de este proyecto analizamos la diversidad de aplicaciones de lógica difusa, que va desde la tecnología de circuitos integrados de consumo hasta el control de procesos industriales. Estas aplicaciones tienen gran relevancia en el control de navegación y datos (Fernández *et al.*, 2011), la ambigüedad y la disminución del ruido de las aplicaciones de seguridad biométrica (Azeem *et al.*, 2021), la estabilización del diseño en tiempo continuo de controladores en sistemas electrónicos (Adriano *et al.*, 2020), hasta la compensación de voltaje en convertidores (Hou, 2020).

La optimización de la implementación de sistemas difusos en circuitos embebidos ha aumentado su importancia (Villaseñor *et al.*, 2019). Además, tiene un mejor impacto en nuestro proyecto respecto a la metrología. Esto nos lleva a evaluar su alimentación energética, tamaño, peso, velocidad de respuesta y tiempo de implementación en el sistema de pesaje. En el desarrollo de nuestra aplicación en Arduino, incorporamos conceptos de siste-

mas difusos de tarjetas como Raspberry Pi, FPGA y PCs (Peña *et al.*, 2020). El sistema difuso creado para la celda de carga es innovador por ser uno de los métodos de inteligencia artificial que mejor compiten con las redes neuronales debido a su arquitectura y fácil comprensión de sus rangos de trabajo (Villaseñor *et al.*, 2022).

Los sistemas difusos constan principalmente de cuatro subsistemas: fase de fuzzificación, sistema de reglas, motor de inferencia y conversión a valores precisos (Zadeh, 1965). La implementación de este tipo de sistema difuso en la tarjeta Arduino aporta ventajas frente a otras soluciones debido a su facilidad de transporte y bajo precio, lo que mejora el uso de hardware y software libre (Cárdenas y Pérez, 2016). Un claro ejemplo de las aplicaciones innovadoras de Arduino es el compilador construido por un equipo de trabajo de ingenieros de la compañía MakeProto, ya que desarrollaron un traductor de código de MATLAB a código de Arduino, que empleamos en la instrumentación de la celda de carga. En este proyecto combinamos la accesibilidad de la plataforma de Arduino con la precisión de las galgas extensiométricas, mediante una aplicación de calibración con sistema difuso creado en MATLAB y un compilador de Arduino FIST (Geiger, 2016).

4. Metodología

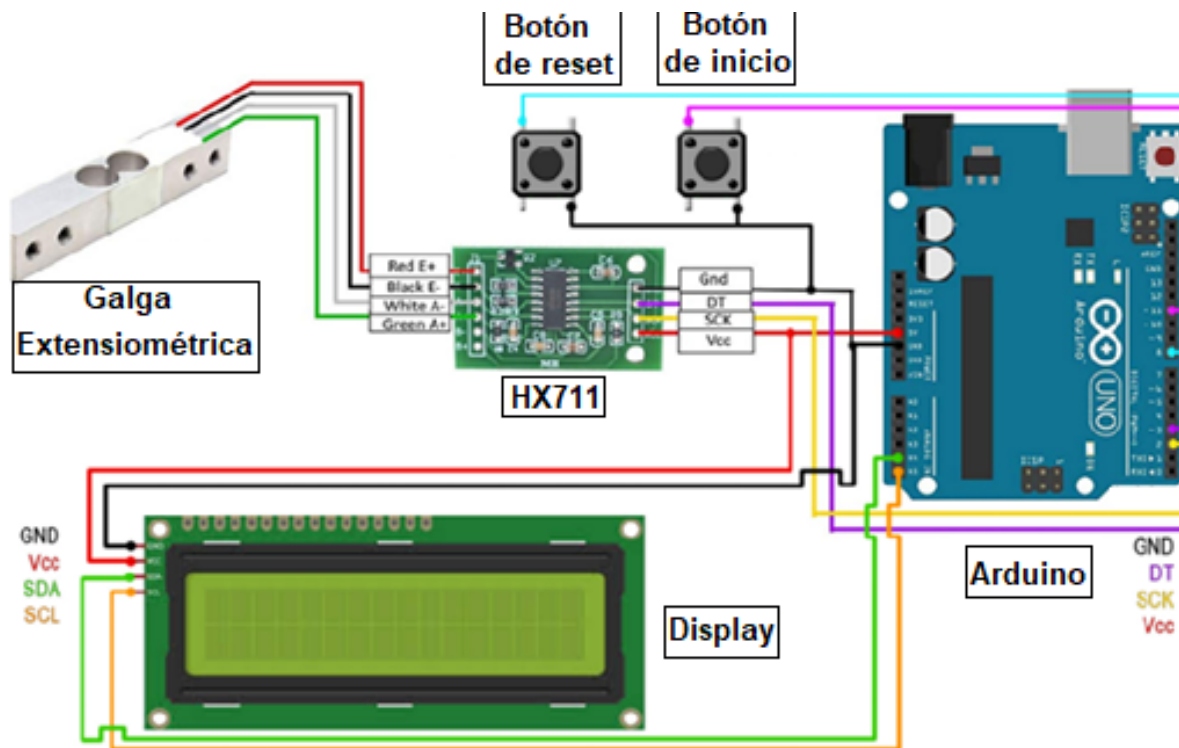
La propuesta para la realización del diseño e instrumentación de las celdas de carga se apoya sobre un sistema de galgas extensiométricas que cuentan con los elementos para realizar pruebas experimentales de la medición del peso de productos deshidratados. El equipo para instrumentación y corridas de mediciones se compone de los siguientes elementos: Arduino, galgas extensiométricas, base o estructura de soporte de medición, módulo HX711 y puente Wheatstone. Una galga extensiométrica es un transductor que convierte fuerzas en señales eléctricas. Esta transformación se inicia en un dispositivo mecánico que genera la deformación de la galga extensiométrica. A

través de medidores de esfuerzos y deformación, que consisten en pequeños valores de resistencias y funcionan como transductores de tensión, obtenemos una señal eléctrica que nos permite calcular la magnitud de la fuerza.

Este proceso se realiza mediante un puente de Wheatstone, que permite medir resistencias desconocidas al lograr el equilibrio del circuito. Los puentes de Wheatstone están compuestos por cuatro resistencias dentro de un circuito cerrado. En el sistema de galgas extensiométricas, las resistencias aplicadas son transductores de deformación. La celda de carga es perfecta para medir cambios en la presión de una superficie o para funcionar como un transductor básico que evalúa el peso de un objeto en contacto con ella. En este proyecto, empleamos un conjunto de galgas extensiométricas de 200 kg, que es la capacidad máxima de peso que nuestro sistema de medición puede registrar.

Actualmente, Arduino es muy implementado en proyectos de automatización al ser una aplicación electrónica de código abierto basada en hardware y software libres, por lo que resulta flexible y accesible para creadores y desarrolladores. Además, facilita la creación de diversos sistemas embebidos de una sola tarjeta en los que podemos aplicar el acondicionamiento de señal con el módulo HX711 y la calibración con algoritmos de aprendizaje automático (Sağlam *et al.*, 2022) aplicada a un sistema de medición de variables (Figura 2.1).

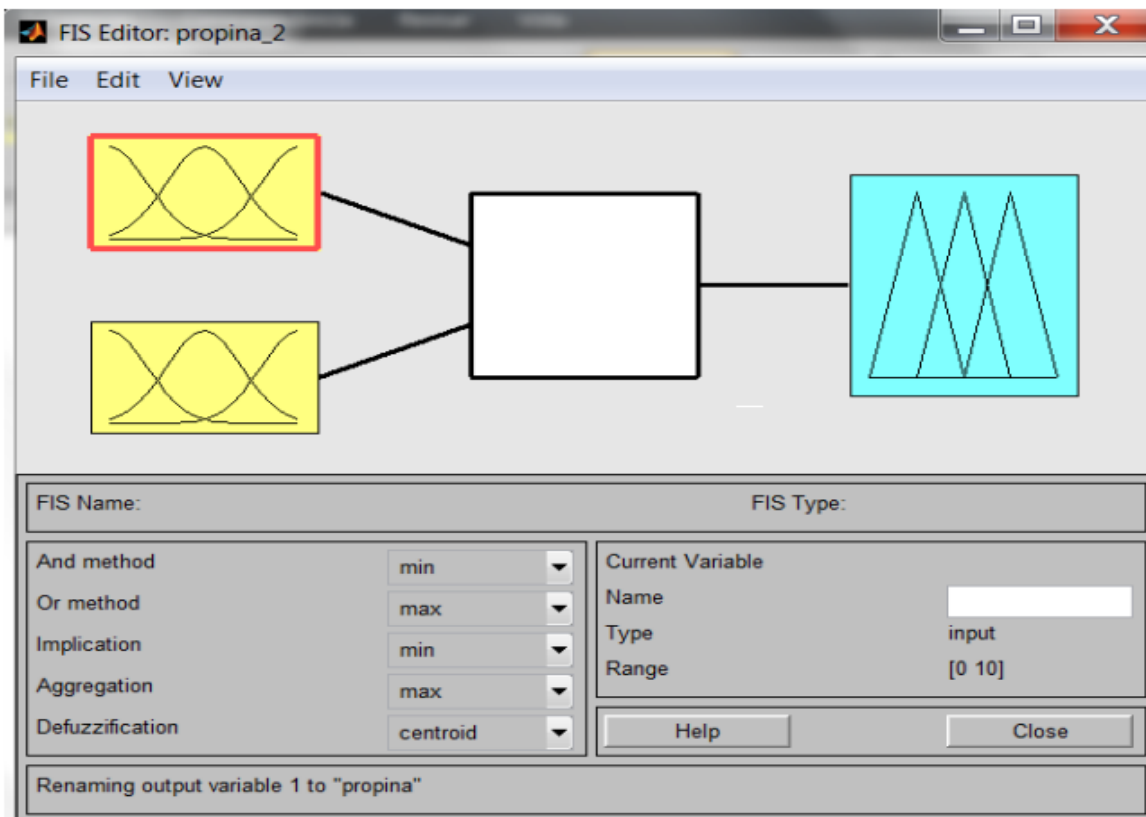
Figura 2.1. Conexión de celda de carga con módulo HX711 y Arduino.



La fuzzificación consiste en convertir números reales en números difusos, con el fin de pasarlos del mundo numérico al mundo lingüístico o ambiguo. Las reglas de inferencia están en la base de conocimiento, que se ejecutan en función de los valores de entrada. Finalmente, el subsistema de defuzzificación convierte los números difusos en números reales. Para crear la base de conocimiento o las reglas del sistema, se emplean los operadores difusos máximo y mínimo, que son equivalentes a los operadores lógicos OR y AND.

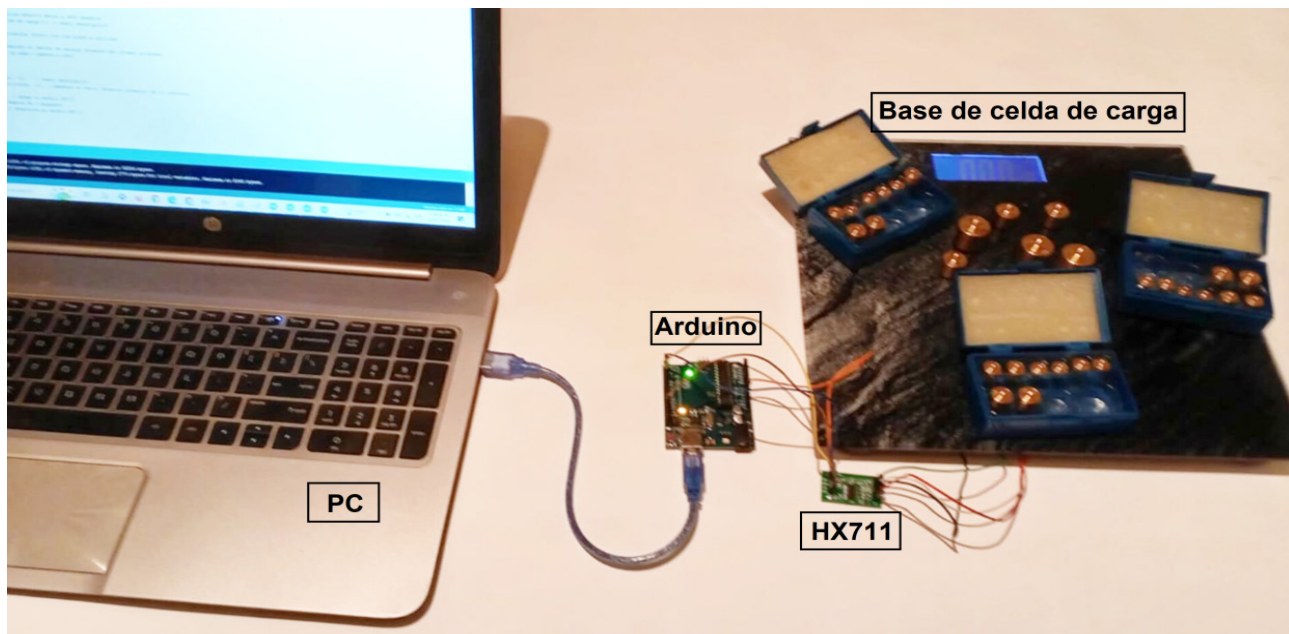
Al comparar dos grados de pertenencia, el operador máximo asigna el valor más alto al defuzzificador, mientras que el operador mínimo, al comparar los mismos grados, asigna el valor más bajo a la salida. En el funcionamiento del sistema difuso, se hicieron pruebas con las celdas de carga con pesos ya conocidos y los datos adquiridos en la tarjeta Arduino se compilaron en la herramienta del Toolbox MATLAB para diseñar sistemas difusos (Júnior *et al.*, 2020). Ver Figura 2.2.

Figura 2.2. Herramienta de Matlab para diseñar sistemas difusos.



Al utilizar la aplicación del compilador Arduino FIST, se obtuvieron las líneas de código C-Arduino, con el fin de obtener mediciones calibradas con lógica difusa con la tarjeta de adquisición de datos. El transductor HX711 actúa como una interfaz en nuestra aplicación entre las galgas extensiométricas y la tarjeta de adquisición de datos, haciendo la lectura del peso de manera más eficiente. El módulo se ocupa internamente de la lectura del puente de Wheatstone creado por la galga extensiométrica, transformando la lectura analógica en digital con su conversor A/D interno. Realizamos la arquitectura de su comunicación con la tarjeta Arduino de forma digital mediante la conexión de las entradas Clock y Data. La finalidad del transmisor de señal HX711 es amplificar la señal que se obtiene de la galga extensiométrica, para posteriormente adquirir los datos en Arduino y calibrarlos con el sistema difuso compilado, para mostrar de forma precisa el peso que existe en el sistema de la celda de carga (Kružić *et al.*, 2023). Ver Figura 2.3.

Figura 2.3. Acondicionamiento de señal del sistema de celda de carga.



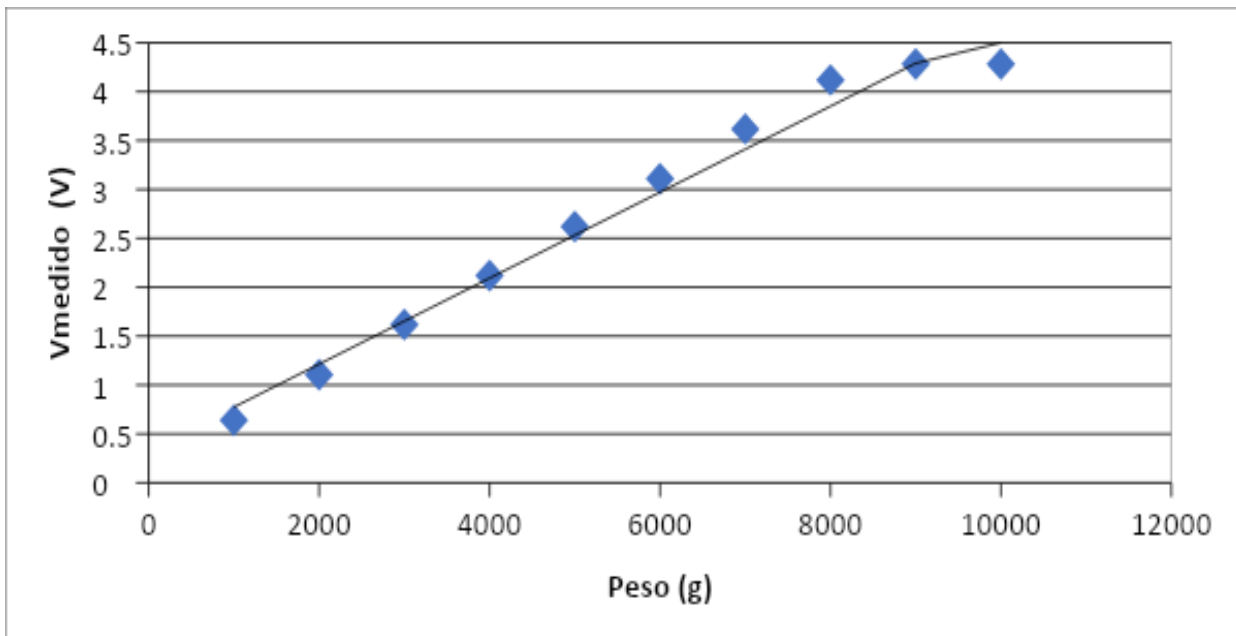
5. Resultados

Para efectuar el funcionamiento del sistema de galgas extensiométricas, se optó por realizar experimentos con patrones de masa en pruebas de tres etapas: (1) Prueba de la primera etapa: se examina la linealidad en los datos de medición del sistema de carga con la aplicación del puente Wheatstone. (2) Prueba de la segunda etapa: se verifica el comportamiento ideal en las mediciones de los voltajes de salida del sistema de las galgas extensiométricas con eliminación del ruido en la señal mediante el módulo HX711. (3) Prueba de la tercera etapa: se prueba la calibración de la báscula implementando un sistema difuso.

5.1. Prueba de la primera etapa

La calibración en la señal entregada por las galgas extensiométricas tiene que mantenerse al pasar por el puente Wheatstone, es decir, la medición de los pequeños cambios en la resistencia de la galga extensiométrica. Para esto se realizó una prueba con diversos patrones de carga. Se ilustran los resultados de la prueba en la Figura 3.1.

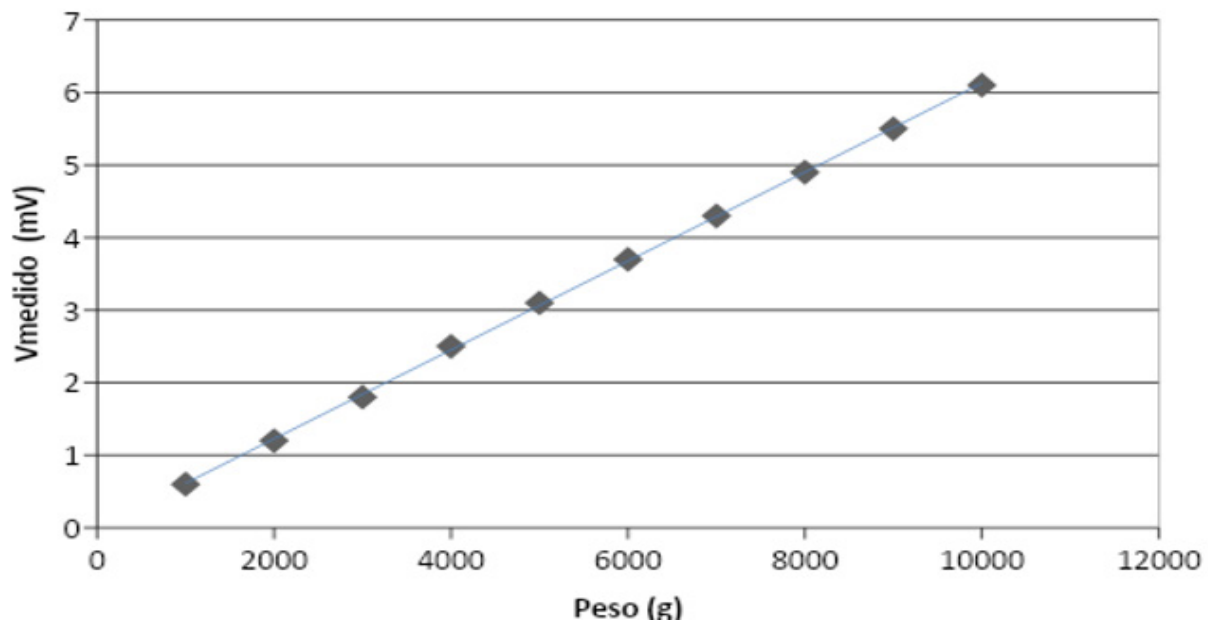
Figura 3.1. Resultados de la prueba de linealidad del voltaje de salida de las galgas extensiométricas con aplicación del puente Wheatstone.



5.2. Prueba de la segunda etapa

Con el fin de comprobar que la báscula ofrece un voltaje proporcional al peso ejercido sobre ella, se emplearon pesos de prueba que se añadieron gradualmente, aplicando un acondicionamiento de señal con el módulo HX711. Se ilustran los resultados de la prueba en la Figura 3.2.

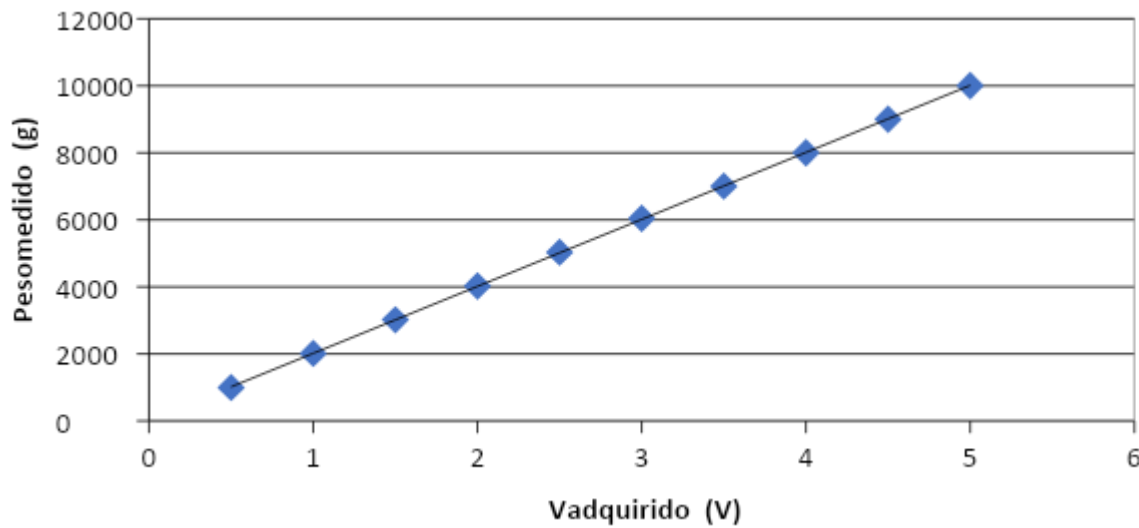
Figura 3.2. Resultados de la prueba de linealidad del voltaje de salida del sistema de la báscula con acondicionamiento de señal.



5.3. Prueba de la tercera etapa

El propósito de esta prueba es verificar la precisión de las mediciones del sistema de carga calibrado con un sistema difuso. Posteriormente, se analizó el error en los resultados mostrados en la Figura 3.3.

Figura 3.3. Resultados de la prueba de calibración con un sistema difuso.



6. Conclusiones

La linealidad del coeficiente de determinación continua no es óptima en la prueba de la primera etapa con aplicación de un puente Wheatstone. En la Figura 4.1, se aprecia que los errores tienden a ser más altos en las partes extremas del rango de pesaje, alrededor de 0 kg y 10 kg. Esto se debe a que el puente Wheatstone está desbalanceado porque hay una gran diferencia de potencia en dos de sus puntos de conexión con el sistema de pesaje.

Al implementar el módulo amplificador HX711, se produjo un comportamiento muy cercano al ideal de las galgas extensiométricas. Esto se justifica por el coeficiente de determinación que corresponde a la línea de tendencia y a las muestras analizadas en la prueba de la segunda etapa cuando se aproxima a uno, $R^2 = 0.999$. Además, el error porcentual se reduce conforme incrementa el peso. Se observa con la prueba de la tercera etapa que la linealidad del coeficiente de determinación continua es ideal en los datos obtenidos del pesaje de las muestras de masa y el voltaje monitoreado con el programa de lógica difusa en Arduino. Esto comprueba que las mediciones son precisas y confiables con la aplicación de un sistema difuso en el sistema de celda de carga.

5. Referencias

- Adriano, N. D., *et al.* (2020). Diseño de controlador de datos muestreados locales para sistemas T-S difusos con actuadores saturados. *Cartas de sistemas de control IEEE*, 5(4), 1169-1174.
- Azeem, *et al.* (2021). Acceso de usuario biométrico seguro y de bajo costo impulsado por lógica difusa al servidor. *Transacciones IEEE sobre confiabilidad*, 70(3), 1014-1025.
- Cárdenas, A. y Pérez, F. (2016). Implementación de sistema difuso en Arduino uno. *Academia Journals*, 2016, 1-6.
- Fernández, *et al.* (2011). Prevención autónoma de colisiones de peatones mediante un controlador de dirección difuso. *Transacciones IEEE en Sistemas Inteligentes de Transporte*, 12(2), 390-401.
- Geiger, P. (2016). Arduino FIST: Compilación de sistema difuso diseñado En MATLAB a Arduino C. MakeProto. http://www.makeproto.com/projects/fuzzy/matlab_arduino_FIST/index.php
- Hou, Y. L. N (2020). Un esquema de control de corriente continua con operación de compensación y estimación de parámetros de circuito para convertidor CC-CC de puente completo. *Transacciones IEEE en Electrónica de Potencia*, 36, 1130-1142.
- Júnior, M. P., *et al.* (2020). Ahorro de energía en un secador rotatorio debido a una aplicación de control multivariable difuso. *Tecnología de secado*, 40(6), 1196-1209.
- Kružić, S., *et al.* (2023). Estimación basada en redes neuronales de galgas extensométricas como alternativa para mediciones de sensores de fuerza y par en manipuladores robóticos. *Ciencias aplicadas*, 13(18), 10217.
- Peña, *et al.* (2020). Estrategia de administración de energía con lógica difusa para una microrred de CD. *Acceso IEEE*, 8, 116733-116743.
- Sağlam, C., *et al.* (2022). Algoritmos de aprendizaje automático para estimar las características de secado de rodajas de manzanas secadas con diferentes métodos. *Revista de procesamiento y conservación de alimentos*, 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16496>

- Villaseñor, M., *et al.* (2019). Clasificación difusa de la madurez del tomate mediante un sistema de visión. *J. Sensores*, 2019, 1-12.
- Villaseñor, M., *et al.* (2022). Fusión difusa de visión estéreo, odómetro y GPS para el seguimiento de vehículos terrestres. *Matemáticas*, 10(12), 1-15.
- Zadeh. (1965). Conjuntos difusos. *Información y control*, 8, 338-353.

Aplicación de las arquitecturas U-Net y ResU-Net para la segmentación de esqueletos de arterias coronarias

Application of U-Net and ResU-Net architectures for coronary artery skeleton segmentation

Juan Manuel Cuevas Gaytan¹  / Emmanuel Ovalle Magallanes² 

¹ Universidad de Monterrey, Ingeniería y Tecnologías

Correspondencia: juan.cuevasg@udem.edu

 ORCID: 0009-0002-3437-5612

²Dirección de Investigación y Doctorado, Facultad de Ingenierías y Tecnologías, Universidad La Salle Bajío

Correspondencia: eovalle@lasallebajio.edu.mx

 ORCID: 0000-0002-0689-520X

Resumen: Un estudio previo descubrió que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de mortalidad en México, con 68 716 fallecimientos, de los cuales 44 064 fueron por cardiopatía coronaria, en 2023. Esta enfermedad provoca el estrechamiento o bloqueo de las arterias coronarias, lo que puede causar infartos. Sin embargo, es prevenible mediante un diagnóstico temprano y un tratamiento adecuado. Asimismo, la angiografía de rayos X es el método más eficaz para su detección. Aunque los angiogramas son efectivos para identificar arterias, los errores de interpretación debido a la variabilidad de las arterias pueden limitar su precisión. La segmentación con redes neuronales profundas puede mejorar este proceso. En esta investigación, se implementaron las arquitecturas U-Net y su variante ResU-Net para la segmentación de esqueletos de arterias coronarias en angiogramas.

El estudio se dividió en tres etapas: implementación de U-Net en PyTorch, procesamiento de datos y evaluación del rendimiento.

Al utilizar un conjunto de 314 angiogramas de 99 pacientes, la ResU-Net demostró un rendimiento superior, alcanzando un Dice score de 0.55 frente al 0.45 de la U-Net. Estos resultados indican que la ResUNET proporciona una segmentación más precisa y eficiente en comparación con la U-Net tradicional.

Palabras clave: angiogramas; *deep learning*; redes neuronales convolucionales; U-Net; segmentación; arterias coronarias.

Abstract: A previous study found that cardiovascular diseases are the leading cause of mortality in Mexico, with 68,716 deaths, of which 44,064 were due to coronary heart disease. This disease causes narrowing or blockage of the coronary arteries, which can lead to heart attacks, in 2023. However, it is preventable through early diagnosis and appropriate treatment, with X-ray angiography being the most effective method of detection. Although angiograms are effective in identifying arteries, interpretation errors due to the variability of the arteries can limit their accuracy. Segmentation with deep neural networks can improve this process. In this research, U-Net and its variant ResU-Net architectures were implemented for segmentation of coronary artery skeletons in angiograms. The study was divided into three stages: implementation of U-Net in PyTorch, data processing and performance evaluation. Using a set of 314 angiograms from 99 patients, ResU-Net demonstrated superior performance, achieving a Dice score of 0.55 versus 0.45 for U-Net. These results indicate that ResUNET provides more accurate and efficient segmentation compared to traditional U-Net.

Keywords: angiograms; deep learning; convolutional neural networks; U-Net; segmentation; coronary arteries.

1. Introducción

1.1. Objetivos de la investigación

El objetivo de esta investigación fue implementar y comparar el rendimiento de las arquitecturas U-Net y ResU-Net en la segmentación de angiogramas de arterias coronarias, con el fin de generar imágenes eskeletonizadas de las arterias. Estas imágenes esqueléticas resaltan las estructuras esenciales de las arterias, simplificándolas a una representación de un solo píxel de grosor, lo que facilita su análisis y la identificación de posibles bloqueos o anomalías. La comparación entre la U-Net y la ResU-Net permitirá evaluar cuál ofrece mejor desempeño en términos de precisión, velocidad de convergencia y capacidad para manejar variaciones anatómicas.

2. Antecedentes

En México, la enfermedad de la arteria coronaria es la cardiopatía que causa más defunciones, con un total de 44 064 muertes en 2023. Esta enfermedad provoca el estrechamiento o bloqueo de las arterias coronarias (Chávez *et al.*, 2003). Una de las herramientas para diagnosticar esta enfermedad son las angiografías, ya que muestran los vasos y las ramificaciones de toda la arteria coronaria (Bao *et al.*, 2024). Sin embargo, la segmentación manual de los angiogramas requiere mucho tiempo y experiencia. Por ello, es necesario implementar nuevos métodos que permitan automatizar este proceso, como el del uso de aprendizaje profundo (Qiu *et al.*, 2024).

La U-Net es una arquitectura comúnmente utilizada para la segmentación médica, propuesta por Olaf Ronneberger, Philipp Fischer y Thomas Brox en 2015, como una mejora sobre las redes completamente convolucionales. Su principal innovación consiste en reemplazar las capas de *pooling* por técnicas de *upsampling*, con el objetivo de mejorar la resolución y la precisión de la localización en la salida. La U-Net presenta un diseño simétrico que comienza con la fase de contracción y continúa con la fase de expansión.

En la fase de contracción, cada nivel aplica una doble convolución de 3x3, seguida por la activación ReLU, y finaliza con una capa de *max pooling* de 2x2 con un *stride* de 2 para reducir la resolución. En la fase de expansión, se realiza primero un *upsampling* para aumentar la resolución de las características, seguido de una convolución de 2x2. Estas características se concatenan con las correspondientes del camino de contracción. Luego, se aplica nuevamente la doble convolución de 3x3 y se pasa por la función de activación ReLU, repitiendo este proceso en todos los niveles (Ronneberger, Fischer y Brox, 2015).

Chen Zhao y su equipo implementaron una FP-U-Net++, que es una combinación de la U-Net++ con una pirámide de características. Esta adición se hizo debido a que dicha pirámide permite la extracción de información desde diferentes escalas. La función de pérdida utilizada incluyó Dice loss, soft Dice loss y una regularización L2. Para entrenar el modelo, utilizaron una colección de angiogramas recolectados de 99 pacientes, lo que dio como resultado 187 imágenes de la arteria coronaria izquierda y 127 de la arteria coronaria derecha, las cuales fueron segmentadas manualmente por cardiólogos expertos. Al concluir el experimento, el modelo obtuvo un Dice score de 0.8899, una sensibilidad de 0.8595 y una especificidad de 0.9960 (Zhao *et al.*, 2021).

En la investigación de Fangxun Bao y su equipo, se implementó un modelo basado en la U-Net para segmentar arterias coronarias, denominado SARC-UNet. Esta arquitectura emplea un enfoque de convoluciones residuales, con dos módulos de fusión de convolución residual, y también incorpora atención espacial para enfocar el modelo en tareas específicas. El modelo fue entrenado con un conjunto de 233 imágenes coronarias. Como resultado, la arquitectura mostró un buen desempeño en los cinco indicadores propuestos: exactitud de 97.947 %, especificidad de 99.803 %, área bajo la curva de 98.869 %, F1 score de 77.202 % y coeficiente de correlación de 76.384 % (Bao *et al.*, 2024).

He y sus compañeros explicaron las bases del aprendizaje residual, al describir un proceso en el que las capas del modelo aprenden una función residual en lugar de una función directa. Este enfoque demostró que el rendimiento de los modelos mejora al permitir una extracción más efectiva de la información y al abordar el problema de la degradación del rendimiento en redes profundas (He *et al.*, 2016).

En el trabajo de Belén Serrano y su equipo, se comparó el rendimiento de una U-Net 2D con transferencia de aprendizaje frente a otras variantes de U-Net, cuyos pesos fueron inicializados aleatoriamente. El objetivo del estudio fue analizar cómo se comportan estos enfoques en función de la cantidad de datos disponibles.

Los modelos fueron entrenados con tomografías de la aorta y las arterias coronarias. Los resultados mostraron que, cuando los datos son escasos, el uso de transferencia de aprendizaje resulta más efectivo. Sin embargo, cuando la cantidad de datos es suficiente, el rendimiento de ambos enfoques produce resultados similares (Serrano-Antón *et al.*, 2023).

3. Metodología

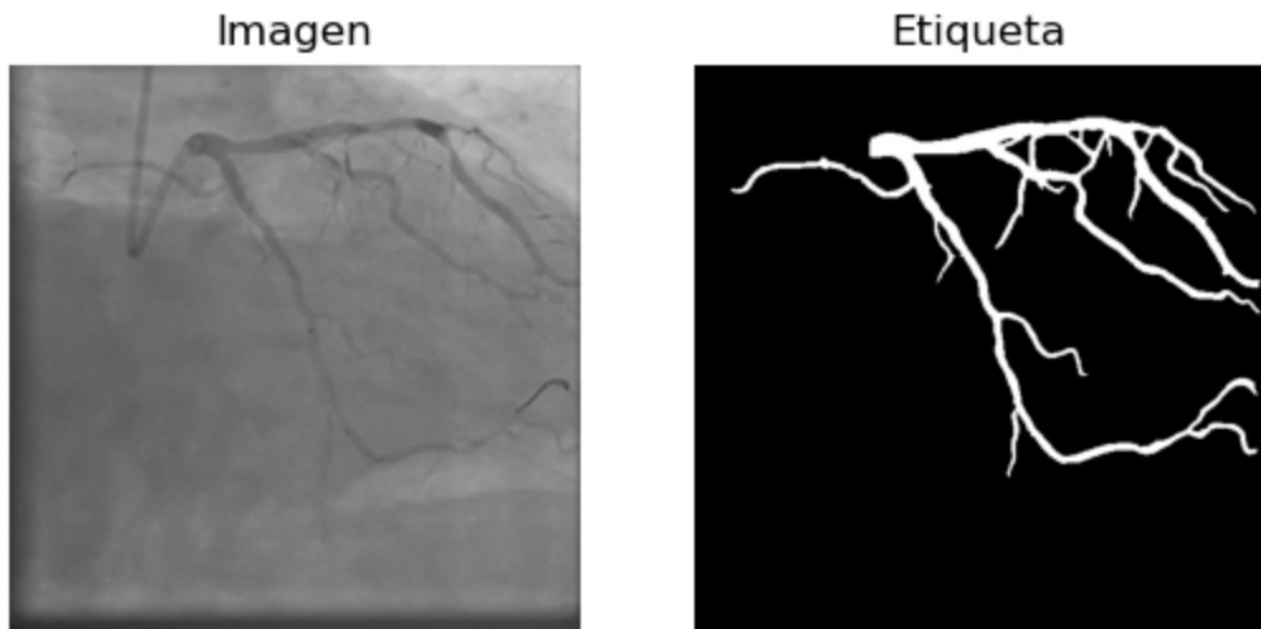
Esta investigación se estructuró en tres etapas: la implementación de los modelos, el procesamiento de los datos y la evaluación de los modelos. A continuación, se detalla el proceso seguido en cada una de estas etapas.

3.1. Materiales

La codificación del proyecto se realizó completamente en Python, utilizando el framework PyTorch para la implementación de los modelos de *deep learning*. El entrenamiento de los modelos se llevó a cabo en un entorno de Google Colab, utilizando una GPU para acelerar el proceso.

El conjunto de datos utilizado para entrenar los modelos fue extraído de un repositorio de GitHub que compartía los mismos datos empleados en el trabajo de Chen Zhao y su equipo (2021). Este conjunto consta de 314 angiogramas obtenidos de 99 pacientes, que incluyen escaneos tanto de la arteria coronaria izquierda como de la derecha. Además, el conjunto de datos incluye imágenes segmentadas por cardiólogos profesionales, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Ejemplo de entrenamiento del angiograma con su imagen.

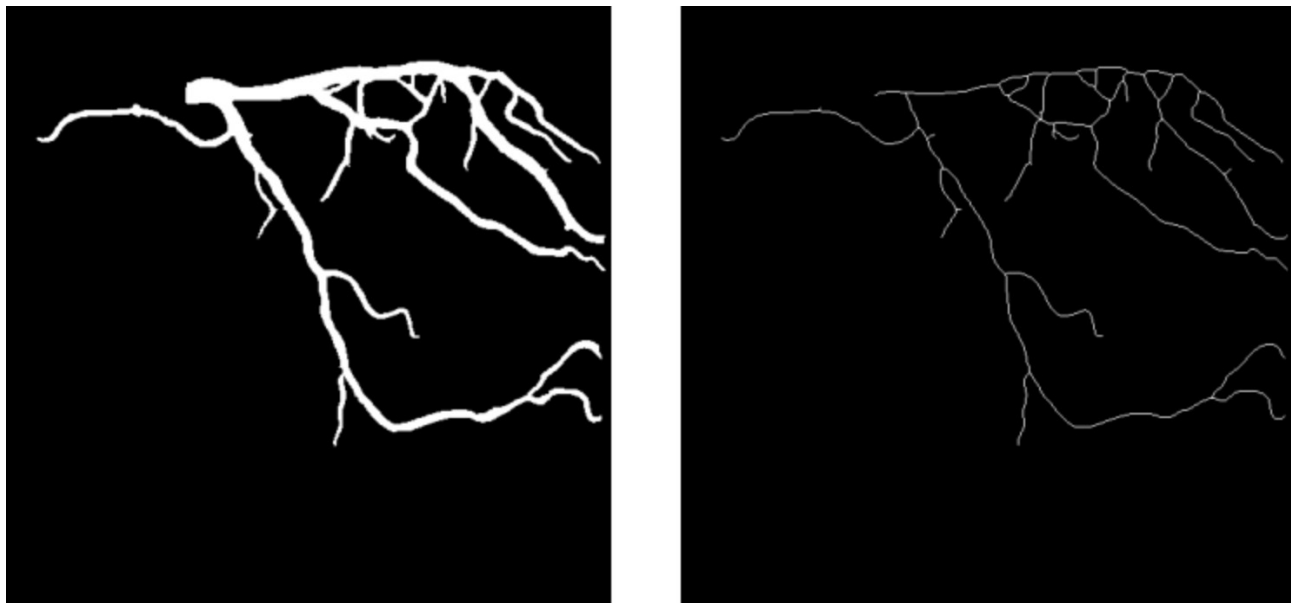


3.2. Procesamiento

El objetivo de nuestra investigación es segmentar imágenes para extraer el esqueleto delgado de las arterias coronarias. Debido a que los datos etiquetados disponibles no eran muy útiles para generar el output deseado, aplicamos un proceso de esqueletización a cada imagen segmentada en nuestro conjunto de datos.

Para la esqueletización, utilizamos el algoritmo de Zhang-Suen (1984). Este algoritmo es un método de adelgazamiento en paralelo diseñado para reducir el grosor de las líneas a un solo píxel, mientras preserva la forma general y la conectividad de los contornos esenciales. Usar este algoritmo fue crucial para obtener una representación precisa del esqueleto de las arterias coronarias en nuestras imágenes segmentadas. Al aplicar este proceso, da el resultado mostrado en la Figura 2.

Figura 2. Imágenes de ejemplo del antes y después de aplicar la esqueletización a una imagen segmentada.



Al finalizar el proceso de adelgazamiento, las imágenes esqueletonizadas sirven como datos de entrenamiento para nuestros modelos, junto con sus respectivas imágenes de angiografía de rayos X.

3.3. Arquitecturas

En esta investigación se implementaron dos modelos: U-Net y ResU-Net. En la etapa de contracción de la U-Net, se realizan dos convoluciones de 3x3,

seguidas de una activación ReLU y una operación de max pooling. Para la etapa de expansión, también se emplea doble convolución, pero antes de cada una, se pasaba el tensor correspondiente de la parte de contracción, realizando la concatenación con el nivel equivalente.

En el caso de ResU-Net, se utilizó la misma estructura que en la U-Net. Sin embargo, el cambio clave se introdujo en la clase de doble convolución. En lugar de realizar solo la doble convolución de 3x3, el input recibido se concatenaba directamente al resultado de las convoluciones antes de pasar por la activación ReLU.

3.4. Entrenamiento

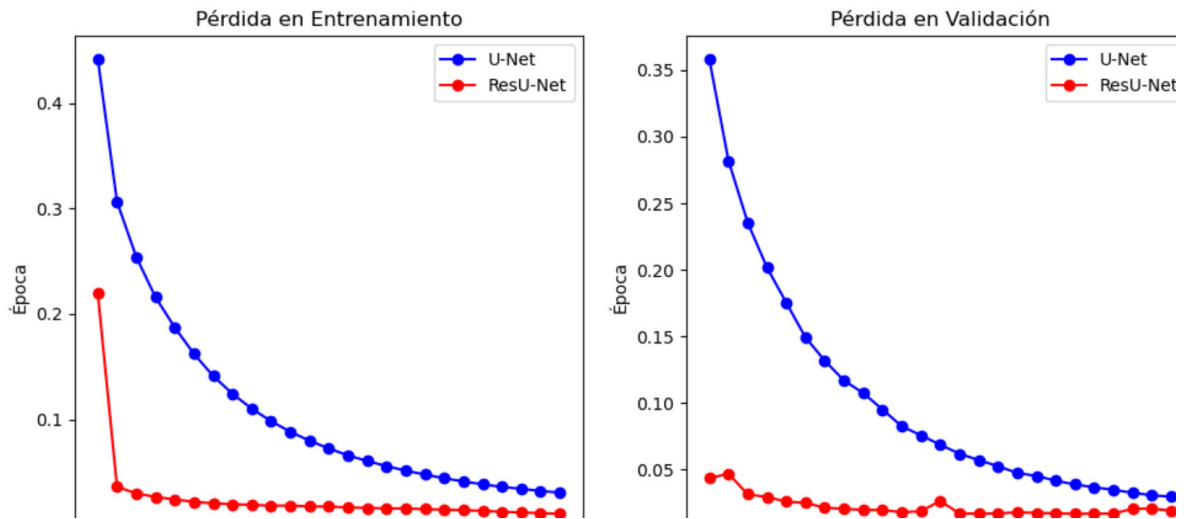
Ambos modelos fueron entrenados durante 25 épocas, y se utilizaron el 80 % de las imágenes para el entrenamiento, mientras que el 20 % restante se dividió entre los conjuntos de prueba y validación. Se utilizó el optimizador Adam con una tasa de aprendizaje de 0.0001, con el objetivo de actualizar los pesos mediante el cálculo del gradiente, y la función de pérdida aplicada fue la Binary Cross Entropy Loss. En cada época, se evaluaron los modelos utilizando los siguientes indicadores de rendimiento: exactitud, especificidad, Dice Score, F1 Score y Recall.

4. Resultados

Durante el entrenamiento, se monitorizaron los indicadores de ambos modelos para evaluar su rendimiento y comparar su evolución. En el caso de la ResU-Net, la pérdida de entrenamiento comenzó en 0.2194 y disminuyó de manera constante hasta 0.0106. Por otro lado, la U-Net tuvo un valor inicial de 0.4417 y terminó en 0.0306. En la etapa de validación, la ResU-Net empezó con una pérdida de 0.0436 y finalizó en 0.0192, mientras que la U-Net comenzó con 0.3584 y terminó en 0.0297. La Figura 3 muestra la comparación

de la pérdida de ambos modelos a lo largo de las épocas. Se puede observar que la ResU-Net aprendió más rápido que la U-Net.

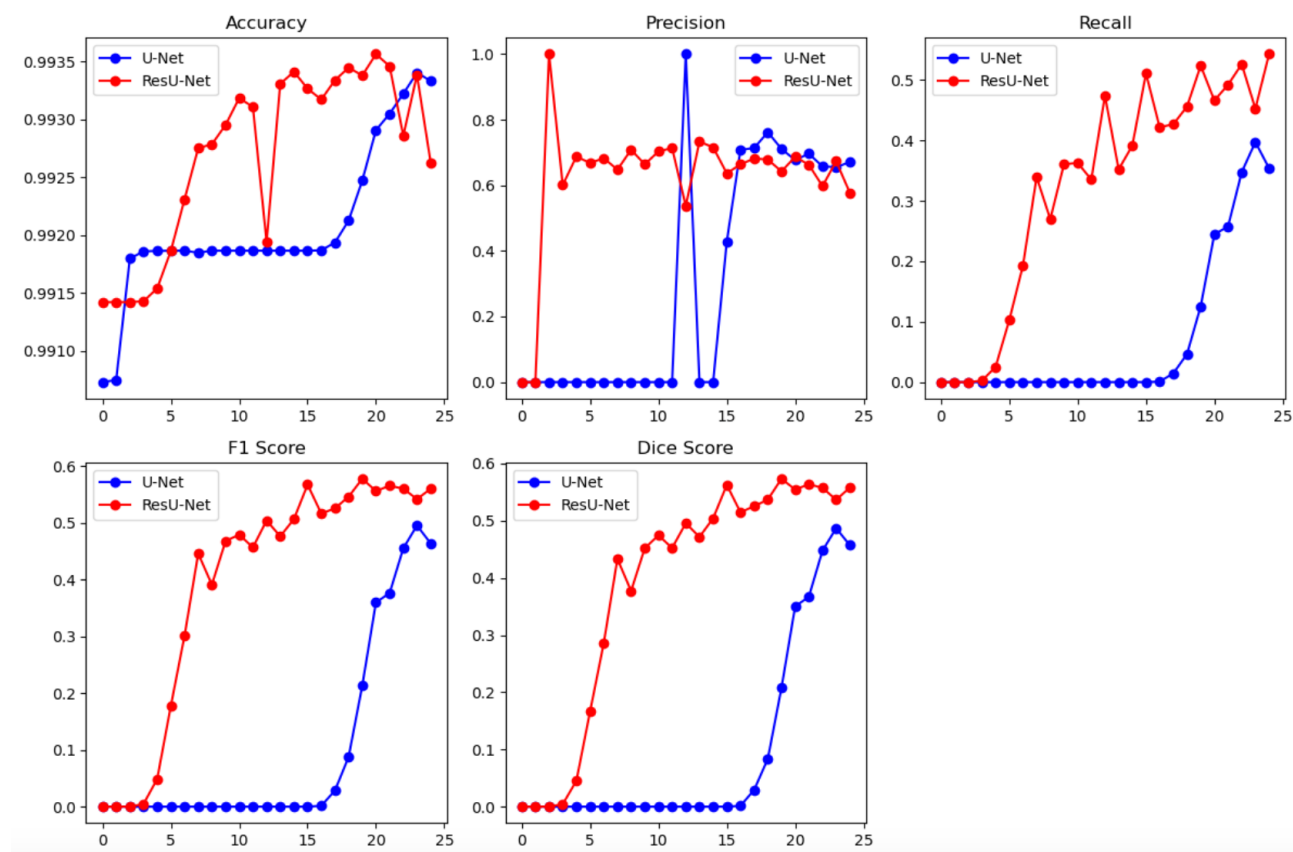
Figura 3. Comparación del rendimiento de los modelos U-Net y ResU-Net.



Además de la pérdida, se monitorizaron otras métricas de desempeño para evaluar ambos modelos. La U-Net alcanzó una exactitud final de 0.9933, mientras que la ResU-Net obtuvo una exactitud de 0.9926. En términos de precisión, la U-Net logró un valor de 0.6708, en comparación con la ResU-Net que tuvo 0.5773.

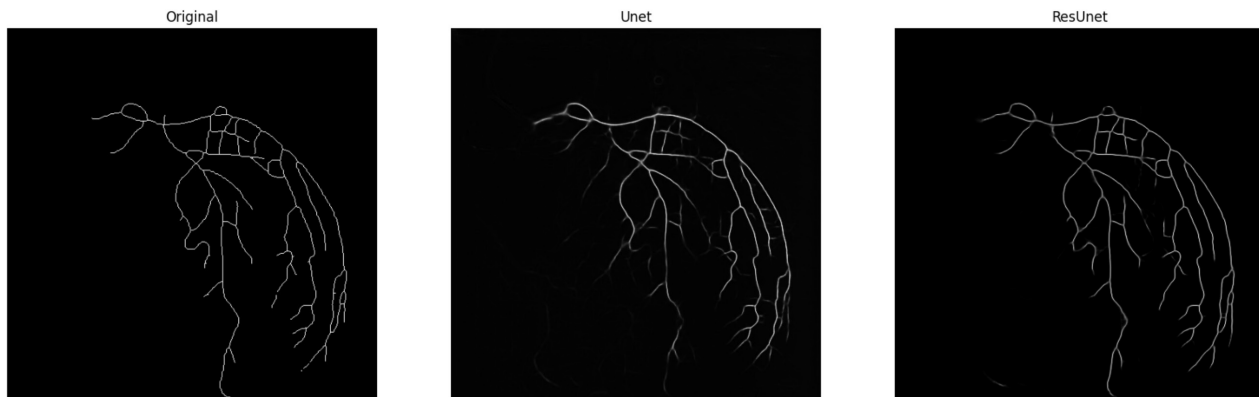
Para el recall, la ResU-Net obtuvo un valor de 0.5429, mientras que la U-Net tuvo un recall de 0.3545. En cuanto al F1 score, la ResU-Net alcanzó 0.5598, frente a 0.4635 para la U-Net. Finalmente, el Dice score para la ResU-Net fue de 0.5581, mientras que la U-Net obtuvo 0.4572. Se puede analizar su comportamiento a través de las épocas en la Figura 4.

Figura 4. Comparación de métricas de rendimiento entre la U-net y la ResU-Net.



En la Figura 5, se muestra la comparación entre las salidas de ambos modelos junto con la imagen original. Se puede observar que, de los dos modelos, la salida de la ResU-Net se asemeja más a la imagen original. Esta observación está respaldada por las métricas de rendimiento que muestran que la ResU-Net proporciona una segmentación más precisa. En contraste, la segmentación generada por la U-Net presenta dificultades para identificar correctamente las ramificaciones de la arteria coronaria.

Figura 5. Comparación de las salidas de la U-Net y ResU-Net.



5. Conclusiones

En este estudio, se compararon dos modelos de segmentación, U-Net y ResU-Net, para evaluar su desempeño en la segmentación de imágenes de arterias coronarias. Los resultados muestran que, en términos de pérdida de entrenamiento y validación, la ResU-Net supera a la U-Net, lo que puede atribuirse a la implementación de la doble convolución residual. A pesar de que la U-Net inicialmente tiene un rendimiento inferior, los valores de pérdida de ambos modelos tienden a acercarse a medida que avanzan las épocas de entrenamiento. Además, ninguno de los modelos muestra signos de sobreajuste, ya que tanto la pérdida de entrenamiento como la de validación disminuyen de manera consistente.

En cuanto a las métricas de desempeño, aunque la U-Net mostró una mejor exactitud y precisión al final de las 25 épocas, la ResU-Net destacó en las métricas clave. La ResU-Net logró un recall de 0.5429, superior al 0.3545 obtenido por la U-Net. Su F1 score fue de 0.5598, superando el 0.4635 de la U-Net, y su Dice score alcanzó 0.5581, en comparación con el 0.4572 de la U-Net.

En términos de calidad de la segmentación, la ResU-Net mostró una mayor precisión en la identificación de las ramificaciones de la arteria coronaria, mientras que la U-Net mostró limitaciones para detectar las estructuras finas de las arterias.

6. Referencias

- Aguirre, E. O. (2022). La (meta) ficción y la parodia como escritura creativa: La enseñanza-aprendizaje de una literacidad crítica. *HUMAN REVIEW. International Humanities Review/Revista Internacional de Humanidades*, 13(2), 1-13.
- Bao, F., et al. (2024). SARC-UNet: A coronary artery segmentation method based on spatial attention and residual convolution. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 255, 108353.
- Chávez, D., et al. (2003). La cardiopatía coronaria en México y su importancia clínica, epidemiológica y preventiva. *Archivos de cardiología de México*, 73(2), 105-114.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402003000200003&lng=es&tlng=es.
- He, K., et al. (2016). Deep residual learning for image recognition. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 770-778.

7. Bibliografía

- Qiu, Y., et al. (2024). Deep multi-scale dilated convolution network for coronary artery segmentation. *Biomedical Signal Processing and Control*, 92, 106021.
- Ronneberger, O., Fischer, P. y Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI*. Lecture Notes in Computer Science, vol 9351. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
- Serrano-Antón, B., et al. (2023). Coronary artery segmentation based on transfer learning and UNet architecture on computed tomography coronary angiography images. *IEEE Access*.

- Zhang, T. Y., y Suen, C. Y. (1984). A fast-parallel algorithm for thinning digital patterns. *Communications of the ACM*, 27(3), 236-239.
- Zhao, C., et al. (2021). Automatic extraction and stenosis evaluation of coronary arteries in invasive coronary angiograms. *Computers in biology and medicine*, 136, 104667.

Desarrollo de un sistema de automatización de los procesos que involucran tambores en el sector de la curtiduría

Development of an automation system for processes involving drums in the tannery sector

Salvador Navarro Garza¹ / Juan Manuel de Julián Vázquez Tejeda/
Emmanuel Jonathan Aguilar Perales / Alma Adriana Camacho Pérez

¹Universidad La Salle Bajío, Facultad de Ingenierías y Tecnologías, Diseño e Ingeniería de Sistemas Mecatrónicos

Correspondencia: salvanava55@gmail.com

Resumen: El proyecto aborda la necesidad de mejorar la eficiencia y precisión en la curtiduría, en la que actualmente el seguimiento de los procesos en tambores se realiza manualmente, lo que presenta desafíos significativos en control y monitoreo. Se propone el desarrollo de un sistema automatizado utilizando industria 4.0, que integre la fórmula del proceso en una pantalla HMI sincronizada con el ERP, permitiendo un control más eficiente y la generación de datos para la toma de decisiones. Además, el sistema permitirá el monitoreo físico y remoto del proceso, y controlará las adiciones de químicos para minimizar errores y mejorar la calidad. Se ha desarrollado un prototipo funcional que muestra mejoras en la eficiencia y precisión.

Palabras clave: trazabilidad; control de calidad; optimización de recursos; industria 4.0; automatización; análisis de datos; procesamiento de información; metodología.

Abstract: The project addresses the need to improve efficiency and preci-

sion in the tannery, where monitoring of processes in drums is currently carried out manually, which presents significant challenges in control and monitoring. The development of an automated system using industry 4.0 is proposed, which integrates the process formula in an HMI screen synchronized with the ERP, allowing more efficient control and the generation of data for decision making. Additionally, the system will allow physical and remote monitoring of the process, and will control chemical additions to minimize errors and improve quality. A functional prototype has been developed that shows improvements in efficiency and precision.

Keywords: traceability; quality control; resource optimization; industry 4.0; automation; data analysis; information processing; methodology.

1. Introducción

La curtiduría es una industria que depende en gran medida de la eficiencia y precisión para garantizar la calidad final del cuero. En este sector, los procesos que se llevan a cabo en tambores son especialmente críticos, ya que en ellos se realizan operaciones fundamentales como el remojo, encalado, curtido y teñido del cuero. Tradicionalmente, el seguimiento y control de estos procesos se han realizado de manera manual, lo que conlleva una serie de desafíos significativos, incluyendo la posibilidad de errores humanos, variabilidad en la calidad del producto y dificultades para mantener un monitoreo continuo y preciso.

Estos desafíos se ven exacerbados por la falta de integración con sistemas digitales que permitan una gestión más eficiente de la producción y el control de calidad. En un entorno donde la demanda por productos de alta calidad y consistencia es cada vez mayor, las curtidurías deben adoptar

tecnologías que permitan optimizar sus procesos productivos. Por ello, el presente proyecto propone el desarrollo e implementación de un sistema automatizado para el control de los procesos en tambores dentro de la curtiduría. Este sistema no sólo busca mejorar la calidad del cuero producido, sino también aumentar la eficiencia operativa, reducir el margen de error humano, y proporcionar un control y monitoreo más riguroso y constante, alineando las operaciones con los estándares modernos de la industria 4.0.

El desarrollo de este sistema implica la integración de una pantalla HMI (Human-Machine Interface) con un sistema ERP (Enterprise Resource Planning), que permitirá un registro y control automatizado de los procesos. Adicionalmente, se propone un sistema de monitoreo tanto físico como remoto, asegurando que los operadores y supervisores tengan acceso continuo y en tiempo real al estado de los procesos, independientemente de su ubicación.

2. Objetivos de la investigación

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un sistema automatizado que permita optimizar los procesos de curtiduría que involucran tambores, mediante la integración de fórmulas en una pantalla HMI sincronizada con un sistema ERP, para registrar y controlar el proceso de manera más eficiente, tener el control en tiempo real y disponer de datos para su análisis y mejorar el proceso.

2.1. Objetivos específicos

1. **Implementación de una pantalla HMI:** Desarrollar e implementar una interfaz HMI que muestre las fórmulas de los procesos de curtiduría en tiempo real. Esta interfaz estará completamente integrada con el sistema ERP de la empresa, lo que permitirá re-

gistrar automáticamente los eventos del proceso, generando así datos críticos para la toma de decisiones en tiempo real.

2. **Monitoreo físico y remoto:** Establecer un sistema de monitoreo que funcione de forma física y remota. Para el monitoreo físico, se integrará una torreta de señalización que indique el estado del proceso en tiempo real, mientras que para el monitoreo remoto se desarrollará una interfaz web que permita a los supervisores y operarios acceder al estado del proceso desde cualquier ubicación con acceso a internet.
3. **Control de adiciones de químicos e insumos:** Diseñar un sistema de control automatizado para las adiciones de químicos y otros insumos durante el proceso de curtiduría. Este sistema tiene como objetivo minimizar el riesgo de errores, asegurando que las cantidades añadidas sean precisas, lo que a su vez reducirá los reclamos de calidad por inconsistencias en el producto final.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

En la industria de la curtiduría, el proceso de tratamiento del cuero es una tarea que requiere una alta precisión y un control constante para garantizar la calidad del producto final. Actualmente, este proceso lleva el seguimiento y ejecución de manera manual, lo que implica que cada paso de la receta debe ser ejecutado por los operarios siguiendo instrucciones específicas sin un soporte automatizado ni herramientas que permitan conocer si se está ejecutando en tiempo o como debe de ser. Esta metodología presenta varios desafíos críticos que afectan tanto la eficiencia operativa como la calidad del cuero producido.

Uno de los principales problemas es la dificultad para llevar un seguimiento detallado y preciso del proceso. Al depender del trabajo manual, es común que se produzcan errores en la ejecución de las fórmulas, lo que

puede resultar en variaciones no deseadas en la calidad del producto final. Además, la falta de un sistema automatizado impide un control de calidad en tiempo real, lo que aumenta la probabilidad de que los defectos sólo se detecten en etapas posteriores, cuando ya es demasiado tarde para corregirlos sin incurrir en pérdidas significativas.

La ejecución manual del proceso también conlleva un considerable desperdicio de recursos, especialmente en términos de energía. La ausencia de una sincronización eficiente entre las distintas etapas del proceso y las máquinas involucradas resulta en tiempos de espera innecesarios, sobrecargas energéticas y un uso ineficiente de los insumos. Por otro lado, el personal de planeación y ventas debe desplazarse físicamente hasta cada máquina para verificar el estado del proceso, lo que no sólo es una tarea que consume tiempo, sino que también puede llevar a retrasos en las entregas al cliente y en la identificación y resolución de problemas.

En caso de que surjan atrasos o problemas durante el proceso, la comunicación dependería de que los operadores informen manualmente a los supervisores o al personal técnico. Esta dependencia del factor humano introduce un margen de error significativo, ya que existe la posibilidad de que no se reporten los problemas a tiempo, lo que puede derivar en fallas de producción que impactan negativamente en la eficiencia general de la planta.

Además, la falta de un cálculo exacto de los tiempos de proceso impide la implementación de mejoras continuas. Sin datos precisos sobre el tiempo que cada etapa del proceso requiere, es complicado identificar cuellos de botella o áreas que podrían beneficiarse de ajustes para optimizar la producción. Como resultado, las oportunidades de mejora se pierden, y el proceso se mantiene estancado en un estado subóptimo, sin aprovechar el potencial de las tecnologías modernas para mejorar la productividad y la calidad.

Estos antecedentes subrayan la necesidad de modernizar los procesos de curtiduría mediante la implementación de sistemas automatizados que

permitan un control más riguroso, reducción de errores, uso más eficiente de recursos y capacidad de realizar mejoras continuas, con datos precisos.

4. Metodología

El desarrollo de este proyecto ha seguido una metodología estructurada, comenzando con la identificación de los requerimientos técnicos y operativos necesarios para la automatización de los procesos en tambores de curtiduría. A partir de esta fase, siguió el diseño de un sistema que integra de manera efectiva las fórmulas provenientes del ERP con una pantalla HMI. Esta integración permite que el operador deje de realizar registros manuales, lo que reduce el margen de error y mejora la eficiencia del proceso.

Además, se ha instalado un conjunto de sensores en los tambores para controlar con precisión su posición durante las distintas fases del proceso. Se instalaron torretas de señalización que proporcionan una indicación visual y auditiva del estado del proceso en tiempo real, facilitando la supervisión y asegurando una respuesta rápida ante cualquier eventualidad. También se ha desarrollado una interfaz web que permite visualizar el estado de la producción en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a la red, ofreciendo una mayor flexibilidad y control a los operadores y supervisores.

Toda la información generada por este sistema automatizado es almacenada en bases de datos diseñadas específicamente para este propósito. Además, se ha establecido un procedimiento de respaldo de datos basado en un análisis de riesgos exhaustivo, garantizando la seguridad y disponibilidad de la información crítica en todo momento.

5. Resultados

Hasta la fecha, se ha logrado desarrollar un prototipo funcional del sistema automatizado propuesto. Este prototipo ha sido sometido a pruebas en un entorno controlado, demostrando mejoras significativas en la eficiencia y precisión del proceso de curtiduría. Los resultados preliminares indican que el sistema no sólo reduce el margen de error humano, sino que optimiza el uso de recursos y mejora la consistencia en la calidad del cuero producido.

Este avance representa un paso importante hacia la modernización de los procesos en la curtiduría; alinea las operaciones con las exigencias de la industria contemporánea y las expectativas de calidad del mercado actual.

Figura 1. Pantallas donde se muestran los procesos.



Nota: Proceso de seguimiento y registro de datos (a, b y c) directamente del tambor y ejecutado por el operador de los tambores, también se muestra la imagen de la integración física con el tablero de control existente (d) y el monitoreo en tiempo real para el personal interesado (e).

6. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha sido sumamente enriquecedor. En primer lugar, nos permitió enfrentar y superar varios desafíos tecnológicos que nos llevaron a una evolución constante en el proceso de aprendizaje. A lo largo del proyecto, trabajamos intensamente contra la resistencia al cambio por parte del personal, lo que nos brindó una valiosa experiencia en la gestión de la adaptación tecnológica en entornos tradicionales.

Una de las mayores satisfacciones fue la oportunidad de colaborar con compañeros de diferentes disciplinas, logrando así fomentar el trabajo en equipo y la integración de diversas áreas del conocimiento. Esta sinergia interdisciplinaria fue clave para el éxito del proyecto.

Otro gran logro fue la presentación del proyecto ante la alta dirección y los gerentes de producción de una empresa, lo que abrió la puerta para la instalación de una demo en un equipo de producción real. Esta instalación se llevó a cabo en colaboración con el desarrollador de software de la planta y el personal de mantenimiento, integrando el sistema con el tablero de control existente sin necesidad de inversión adicional, aprovechando los recursos disponibles en la planta.

Cabe destacar que el equipo de mantenimiento mostró un gran entusiasmo y motivación a lo largo del proceso. Para ellos, este proyecto representó no sólo un reto, sino una oportunidad de aplicar sus conocimientos en una iniciativa con un impacto significativo en la operación de la planta.

Por último, nos comprometemos a seguir desarrollando este proyecto y llevarlo a nuevas etapas donde se puedan implementar tecnologías avanzadas como el machine learning, big data e inteligencia artificial. Estas herramientas permitirán abarcar y automatizar aún más controles dentro del proceso, optimizando la eficiencia y calidad de manera integral. Nuestro objetivo es que este sistema evolucione hacia una solución completamente automatizada, alineada con las exigencias y avances de la industria 4.0.

En resumen, este proyecto no sólo ha demostrado su viabilidad técnica y operativa, sino que también ha subrayado la importancia del trabajo en equipo y la colaboración entre distintas áreas para lograr una implementación exitosa y generar un cambio positivo en la industria.

7. Referencias

- Aula21. (2024). *Modbus: Qué es y cómo funciona*. Aula21. Centro de formación técnica para la industria. <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como funciona/>
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. Editorial Alfaomega.
- Cantón Croda, R. M., et al. (Coords). *Perspectivas de la industria 4.0*. Editorial Alfaomega.
- Pizarro, J. (2019). *Internet de las cosas (IoT) con Arduino. Manual práctico*. Paraninfo.
- Pomar, P. (2017). *5 casos de éxito del Design Thinking. El siguiente puedes ser tú*. Thinkernautas. <https://thinkernautas.com/5-casos-exito-del-design-thinking>
- Talos Electrónico. (2022, 15 de marzo). *Comunicación MODBUS TCP (Servidor Cliente) entre PLC Siemens S7-1200 y ESP32*. <https://www.youtube.com/watch?v=CzEdDJVsmAM&t=2201s>

Dispositivo asistente para problemas de estrés y ansiedad que viven los jóvenes universitarios

Assistant device for stress and anxiety problems experienced by young university students

Luz Adriana Martínez Zavala¹  / Germán Pérez Maciel¹  / Paulina García Campos¹  / Paulina Lilian Montiel Ordaz¹  / Marysol García Pérez¹ 

¹ Universidad La Salle Bajío, Campus Campestre, Facultad de Ingenierías y Tecnologías

Correspondencia: lmz106708@lasallebajio.edu.mx

 ORCID ID: 0009-0006-6808-8207

Correspondencia: mgarciap@lasallebajio.edu.mx

 ORCID ID: 0000-0002-0201-5914

Resumen: Este trabajo propone una solución tecnológica para prevenir y gestionar la alta prevalencia de estrés y ansiedad en estudiantes universitarios, a través de un sensor que mide la frecuencia cardiaca, respiratoria y sudoración. El desarrollo del dispositivo incluyó tres etapas: 1) encuestas a estudiantes para identificar los niveles de ansiedad; 2) programación de sensores para medir variables fisiológicas; 3) diseño de una interfaz interactiva. Para ello se aplicaron los cuestionarios STAI (Inventario de Ansiedad Estado-Rasgo) y el Inventario de Ansiedad de Beck, los cuales revelaron que la mayoría de los estudiantes presenta niveles moderados de ansiedad. El dispositivo antes mencionado busca ser una herramienta accesible para los estudiantes, que brinde información en tiempo real sobre su respuesta fisiológica al estrés y la ansiedad, y proporcione técnicas de autocuidado.

Con esto, se espera fomentar la salud mental y el bienestar emocional en la comunidad universitaria.

Palabras clave: estrés; ansiedad; estudiantes; autocuidado; tecnología; salud mental.

Abstract: This work proposes a technological solution to prevent and manage the high prevalence of stress and anxiety in university students, through a sensor that measures heart rate, respiratory rate, and sweating. The development of the device included three stages: 1) surveys of students to identify anxiety levels; 2) programming of sensors to measure physiological variables; 3) design of an interactive interface. For this, the STAI (State-Trait Anxiety Inventory) and the Beck Anxiety Inventory questionnaires were applied, which revealed that the majority of students present moderate levels of anxiety. The aforementioned device seeks to be an accessible tool for students, providing real-time information about their physiological response to stress and anxiety, and providing self-care techniques. With this, it is hoped to promote mental health and emotional well-being in the university community.

Keywords: stress; anxiety; students; self-care; technology; mental health.

1. Introducción

La ansiedad en los jóvenes universitarios es una preocupación creciente en la sociedad contemporánea. Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar alternativas efectivas para prevenir y controlar este padecimiento. Basado en investigaciones previas que destacan la prevalencia, así como los factores fisiológicos medibles asociados, este proyecto propone abordar esta

problemática mediante la investigación y el desarrollo de una alternativa tecnológica. Al integrar conocimientos de neurociencia, ingeniería y salud mental, el objetivo es ofrecer herramientas innovadoras, accesibles y efectivas que ayuden a los estudiantes a gestionar el estrés y mejorar su calidad de vida, así como promover una cultura de autocuidado y apoyo mutuo en la comunidad universitaria.

1.1. Planteamiento del problema

La transición a la vida universitaria implica un conjunto único de desafíos académicos, sociales y emocionales que pueden generar niveles significativos de estrés y ansiedad. Estos jóvenes se enfrentan a demandas académicas rigurosas, presiones sociales, incertidumbre sobre el futuro y una creciente dependencia de la tecnología digital, los cuales pueden contribuir a la exacerbación de los síntomas de ansiedad (*Ramón-Arbués et al., 2020; Regehr et al., 2013*). Estudios han reportado que hasta el 41.6 % de los estudiantes universitarios en los Estados Unidos experimentan ansiedad, mientras que, en Europa, hasta el 19 % reporta síntomas durante el año académico (*January et al., 2018*). En otros estudios se ha reportado que cerca del 15 % de los universitarios a nivel mundial presentan niveles de ansiedad considerablemente altos (*Sonmez et al., 2023*).

A pesar de los esfuerzos por abordar esta problemática, los recursos tradicionales de apoyo psicológico, como terapia individual o grupal, pueden no ser accesibles o adecuados para todos los estudiantes universitarios debido a barreras de tiempo, costo o estigma asociado. Por lo que la integración de soluciones tecnológicas emerge como una alternativa prometedora para prevenir y controlar las crisis de ansiedad en este grupo demográfico (*Regehr et al., 2013*).

Sin embargo, la importancia de proporcionar a los jóvenes universitarios una alternativa tecnológica efectiva para manejar la ansiedad aún no

ha sido explorada ni valorada totalmente. Existe una necesidad urgente de investigar y desarrollar herramientas digitales específicamente diseñadas para abordar las necesidades únicas de este grupo poblacional, brindándoles estrategias prácticas y accesibles para prevenir, gestionar y superar las crisis de ansiedad (Gallego *et al.*, 2015; Regehr *et al.*, 2013).

2. Objetivos de la investigación

El objetivo del estudio es desarrollar una comprensión integral de los factores desencadenantes de la ansiedad en jóvenes universitarios, así como de los hábitos y estrategias que utilizan para hacerle frente. Además, busca diseñar, desarrollar y evaluar la efectividad de una alternativa tecnológica con interfaz interactiva para prevenir y controlar las crisis de este trastorno.

Para cumplirlo se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los factores estresantes más comunes que contribuyen a la ansiedad en estudiantes universitarios mediante la realización de encuestas y entrevistas.
- Desarrollar un prototipo biomédico de bajo costo capaz de medir diferentes respuestas fisiológicas relacionadas con la ansiedad para complementar los datos obtenidos a través de las encuestas y entrevistas.
- Diseñar y desarrollar una alternativa tecnológica con interfaz interactiva que incorpore estrategias efectivas para prevenir y controlar las crisis de ansiedad, basadas en los resultados obtenidos en la fase de investigación.

2.1. Hipótesis

La hipótesis de este estudio sostiene que hay una relación significativa entre los factores estresantes experimentados por los estudiantes universitarios y sus niveles de ansiedad. Se prevé que aquellos que presentan mayores

niveles de factores también experimentan niveles más altos de ansiedad. Asimismo, se espera que utilicen estrategias de afrontamiento efectivas y cuenten con recursos de apoyo que reduzcan sus niveles de ansiedad. Por último, se anticipa que la implementación de una alternativa tecnológica con interfaz interactiva diseñada para prevenir y controlar las crisis de ansiedad la pueda disminuir significativamente.

3. Antecedentes y/o fundamento teórico

Los estudiantes se enfrentan a nuevas responsabilidades académicas, sociales y personales durante la vida universitaria, lo que puede causar ansiedad y estrés debido a su impacto en el rendimiento académico y bienestar emocional; además de afectar negativamente la capacidad de concentración, la toma de decisiones, la memoria y la motivación, lo que dificulta el éxito académico y la satisfacción personal (National Institute of Mental Health (NIMH), n.d.; Fujihara *et al.*, 2023).

Los factores que contribuyen a estos altos niveles de ansiedad y estrés incluyen presión académica, competencia entre pares, preocupaciones financieras, cambios en el estilo de vida y transición a la vida universitaria (Ramón-Arbués *et al.*, 2020).

Es importante tener en cuenta que la ansiedad y el estrés pueden manifestarse en diferentes formas, desde síntomas físicos como dolores de cabeza y problemas gastrointestinales hasta síntomas emocionales como preocupación excesiva, nerviosismo y problemas para dormir (Fujihara *et al.*, 2023; Sonmez *et al.*, 2023).

Las instituciones educativas pueden crear un entorno de aprendizaje más favorable que fomente el bienestar estudiantil y maximice el potencial de cada estudiante al abordar estos problemas de manera efectiva, lo que incluye un ambiente universitario que valore la salud mental y el bienestar de los estudiantes, así como la implementación de programas de apoyo emo-

cional y psicológico y la promoción de técnicas saludables de afrontamiento (Ramón-Arbués *et al.*, 2020).

Las siguientes son definiciones de los términos y las diferencias entre estrés y ansiedad. 1) La ansiedad es una emoción compleja que implica una respuesta adaptativa del organismo ante situaciones percibidas como amenazantes, peligrosas o estresantes (National Institute of Mental Health, n.d.; Dean, 2016). La ansiedad puede manifestarse en diferentes niveles de intensidad, desde leve hasta severo, y afecta diferentes áreas de la vida, como el trabajo, las relaciones interpersonales y la salud. Algunos de los síntomas físicos comunes asociados con la ansiedad incluyen taquicardia, sudoración, temblores, dificultad para respirar, dolores de cabeza y problemas gastrointestinales. A nivel emocional, la ansiedad puede manifestarse con sentimientos de preocupación, nerviosismo, aprensión, miedo y tensión (Dean, 2016; Vlemincx *et al.*, 2011).

Por otro lado, 2) el estrés se refiere a la respuesta física y emocional del organismo ante demandas o presiones externas que se perciben como desafiantes o amenazantes para el bienestar o el equilibrio interno (APA, 2020). Estos estresores pueden ser de naturaleza física, psicológica o social, y pueden incluir eventos traumáticos, cambios importantes en la vida, presiones laborales, problemas financieros, conflictos interpersonales y preocupaciones académicas, entre otros. La respuesta al estrés implica la activación del sistema nervioso autónomo y la liberación de hormonas del estrés, como el cortisol y la adrenalina, que preparan al cuerpo para hacer frente a una situación percibida como amenazante. Esta respuesta de «lucha o huida» puede incluir síntomas físicos como aumento de frecuencia cardíaca, tensión muscular, sudoración y dilatación de las pupilas, así como síntomas emocionales como ansiedad, irritabilidad, agitación y dificultades para concentrarse (Gardani *et al.*, 2022).

Es importante tener en cuenta que el estrés puede ocasionar efectos tanto positivos como negativos en el bienestar de una persona. A corto pla-

zo, el estrés es útil para afrontar desafíos y promover la adaptación y el crecimiento personal. Sin embargo, el estrés crónico o excesivo puede tener efectos adversos en la salud física y mental, aumentando el riesgo de trastornos de ansiedad, depresión, enfermedades cardiovasculares, trastornos del sueño y problemas gastrointestinales, entre otros.

Se han desarrollado diversas pruebas con el propósito de evaluar los niveles de estrés y ansiedad en distintos contextos. Entre estas, se destacan aquellas que se centran en la percepción del individuo frente a situaciones estresantes y en la manifestación fisiológica.

La prueba de Ansiedad Rasgo (STAI) es una herramienta psicométrica diseñada para evaluar estos niveles como una característica estable de la personalidad, es decir, la tendencia general de una persona a experimentar ansiedad en diferentes situaciones (Daniel *et al.*, 2023; Forrest *et al.*, 2021; Leal *et al.*, 2017). En nuestro estudio, el STAI podría ser útil para medir la ansiedad crónica o habitual que experimentan los participantes. Esto permite identificar a aquellos estudiantes que tienen una mayor predisposición en comparación con otros, lo que puede ser importante para comprender los factores de riesgo y diseñar intervenciones específicas (Forrest *et al.*, 2021; Leal *et al.*, 2017).

Una vez que el individuo ha respondido todas las preguntas, se suman los puntajes obtenidos en cada ítem. Esto da como resultado un puntaje total que puede variar según el rango total posible de la escala. Por lo general, se calcula un puntaje total para todas las preguntas, lo que proporciona una medida global del nivel de ansiedad rasgo.

Los valores asignados a cada una de las respuestas son los siguientes:

Nada = 0	Algo = 1	Bastante = 2	Mucho = 3
Casi nunca = 0	A veces = 1	A menudo = 2	Casi siempre = 3

En la interpretación de los resultados, los puntajes más altos indican niveles más altos de ansiedad rasgo, mientras que los puntajes más bajos señalan los niveles más bajos de ansiedad rasgo. Los puntajes también se pueden comparar con los puntajes de referencia o normativos para determinar dónde se sitúa el individuo en relación con la población general en términos de ansiedad rasgo.

La prueba de ansiedad de Beck (BAI) es una herramienta que evalúa los síntomas de ansiedad en términos de su gravedad y frecuencia. A diferencia del STAI, que se centra en la ansiedad como una característica estable de la personalidad, el BAI se enfoca en los síntomas experimentados durante un periodo. En un estudio sobre ansiedad y estrés en estudiantes universitarios, el BAI podría proporcionar información detallada sobre la presencia y la intensidad de los síntomas en la muestra. Esto puede ayudar a identificar a aquellos estudiantes que están experimentando niveles significativos de ansiedad, lo que puede ser útil para orientar intervenciones y servicios de apoyo específicos (Saal *et al.*, 2019; Vázquez Morejón *et al.*, 2014).

El cuestionario consta de 21 preguntas que proporcionan un rango de puntuación entre 0 y 63. Los puntos de corte sugeridos para interpretar el resultado son los siguientes:

- **00-21:** Ansiedad muy baja
- **22-35:** Ansiedad moderada
- **Más de 36:** Ansiedad severa

Cada ítem se puntúa de 0 a 3. La puntuación 0 corresponde a «en absoluto»; 1 a «levemente, no me molesta mucho»; 2 a «moderadamente, fue muy desagradable, pero podía soportarlo», y la puntuación 3 a «severamente, casi no podía soportarlo» (Saal *et al.*, 2019).

La puntuación total es la suma de cada ítem. Los síntomas hacen referencia a la última semana y al momento actual.

En la sociedad moderna, el estrés y la ansiedad son problemas omnipresentes que afectan nuestra salud mental y emocional. Sin embargo, existen actividades probadas que pueden ayudar a reducir estos niveles, obteniendo así un mayor bienestar. Desde la meditación y el ejercicio físico, hasta establecer límites saludables y participar en hobbies relajantes, exploraremos cómo estas prácticas pueden ser clave para gestionar el estrés y la ansiedad de manera efectiva, permitiéndonos disfrutar de una vida más equilibrada y satisfactoria (Saal *et al.*, 2019).

4. Metodología (método, técnica e instrumentos)

Para cumplir con cada uno de los objetivos planteados en el estudio se establecieron tres etapas: 1) aplicación de cuestionarios (que son descritos más adelante); 2) programación de sensores para diagnóstico de variables fisiológicas identificadas en personas que presentan estrés y ansiedad; 3) diseño de una interfaz interactiva para el usuario con técnicas de relajación, que integre variables fisiológicas y retroalimentación. Hasta el momento, el proyecto ha avanzado en las primeras dos etapas, las cuales son abordadas en el presente escrito.

Para realizar el análisis de datos y entender el contexto de población, se aplicaron los cuestionarios de Ansiedad Estado Rasgo (STAI) y el Inventario de Ansiedad de Beck (BAI) a estudiantes de la Facultad de Ingenierías y Tecnologías (FIT) de la Universidad La Salle Bajío, Campus Campestre.

La FIT tiene una población de 1100 estudiantes y se seleccionó un total de 286. Esta muestra ha sido considerada con el 95 % de nivel de confianza y un margen de error del 5 %. Las carreras del estudiantado participante fueron: Ingeniería Biomédica (IB), Ingeniería de Software (ISSC), Ingeniería Civil (IC), Ingeniería Industrial (IIN), Ingeniería Electrónica (IET), Ingeniería en Tecnologías y Soluciones de Negocios (ITSN), Ingeniería Electromecánica (IEM), Robótica (IR) y Criminalística (CC). Los cuestionarios se aplicaron a

estudiantes de segundo, cuarto y sexto semestre, quienes presentan mayores niveles de estrés y ansiedad por la carga de trabajo demandada.

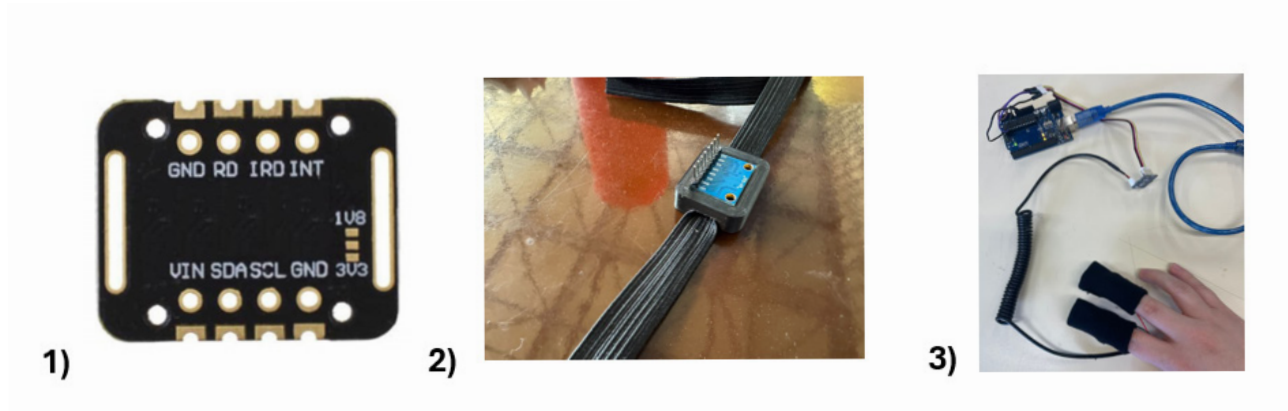
La segunda etapa del proyecto incluye la calibración de los sensores del dispositivo, el cual registra las siguientes variables fisiológicas: frecuencia cardíaca (FC), frecuencia respiratoria (FR) y sudoración.

Los sensores usados para el registro de estas señales pueden verse en la Figura 1:

- 1) **MAX30102 para el registro de la FC.** Sensor que funciona bajo el principio de pletismografía cardíaca, el registro se obtiene colocándolo en el dedo del participante y en la pantalla puede visualizarse los pulsos en tiempo real;
- 2) **MPU9250 para el registro de la FR.** Registra el movimiento del tórax en la inspiración y espiración, traduciéndolo en parámetros de FR. El sensor se adaptó a una base y a una banda para colocarse en el tórax de los participantes y visualizar claramente cada uno de los ciclos respiratorios;
- 3) **Sensor galvánico.** Detecta cambios de conductancia en la piel y la sudoración de los participantes cuando se encuentran en estado de estrés y/o ansiedad.

Cada una de las señales se obtuvo de manera independiente con ayuda de un microcontrolador ESP32. Posteriormente, fueron visualizados en una pantalla programable.

Figura 1. Sensores utilizados para la detección de señales fisiológicas.



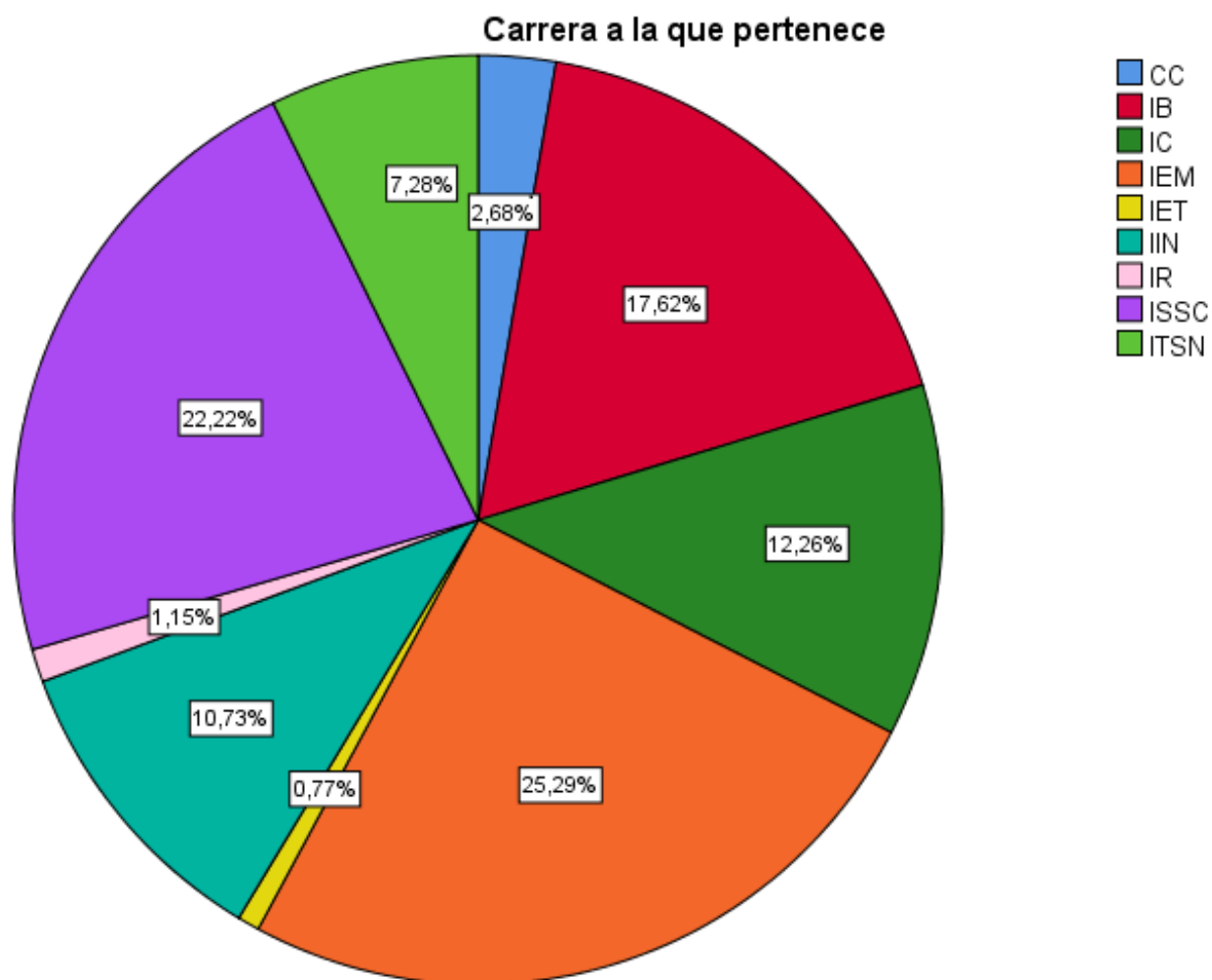
Nota: 1) Max30102 para FC; 2) MPU9250 para FC; 3) sensor galvánico para registro de sudoración.

El dispositivo, que ya integra los tres sensores, permite visualizar las señales en tiempo real, de esta manera concluye la segunda fase del proyecto. La siguiente etapa que está en desarrollo busca mejorar la interacción entre usuario y dispositivo para optimizar la experiencia.

5. Resultados

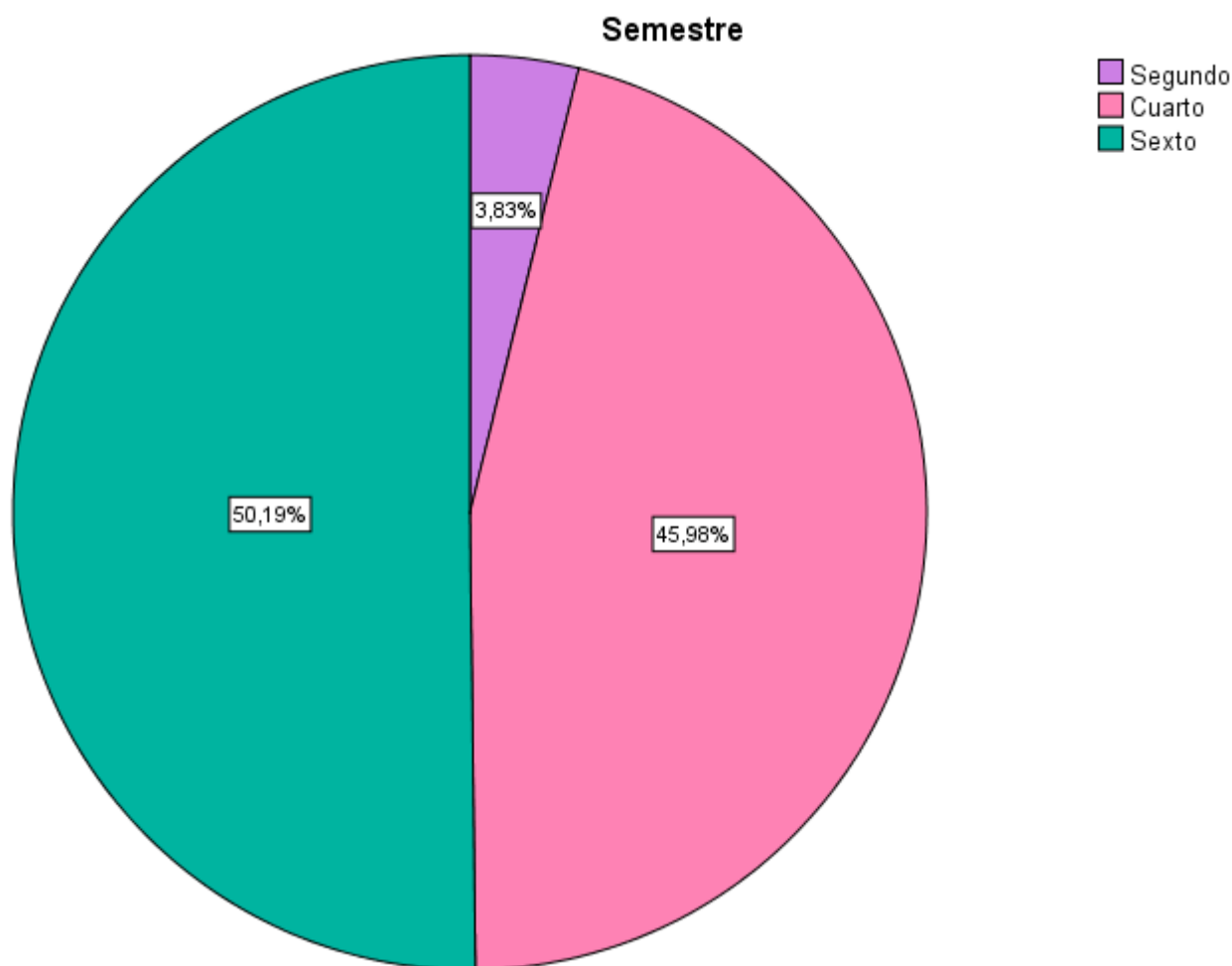
Durante la primera etapa, que consiste en la aplicación de los cuestionarios STAI y BAI, los resultados de las pruebas revelan que los estudiantes de la FIT son conscientes de sus respuestas fisiológicas al estrés y la ansiedad. En la Figura 2, se observan los encuestados por carreras, las poblaciones más grandes son: IEM, ISSC e IB.

Figura 2. Porcentajes por carreras que respondieron el cuestionario.



La mayor cantidad de participantes proviene del sexto semestre representa el 50.2 % del total de la muestra. Los de cuarto semestre también tienen una participación significativa con el 46 %, mientras que el segundo semestre tiene la menor participación con un 3.8 %. En la Figura 3, se puede apreciar de manera gráfica el porcentaje de participación por semestres.

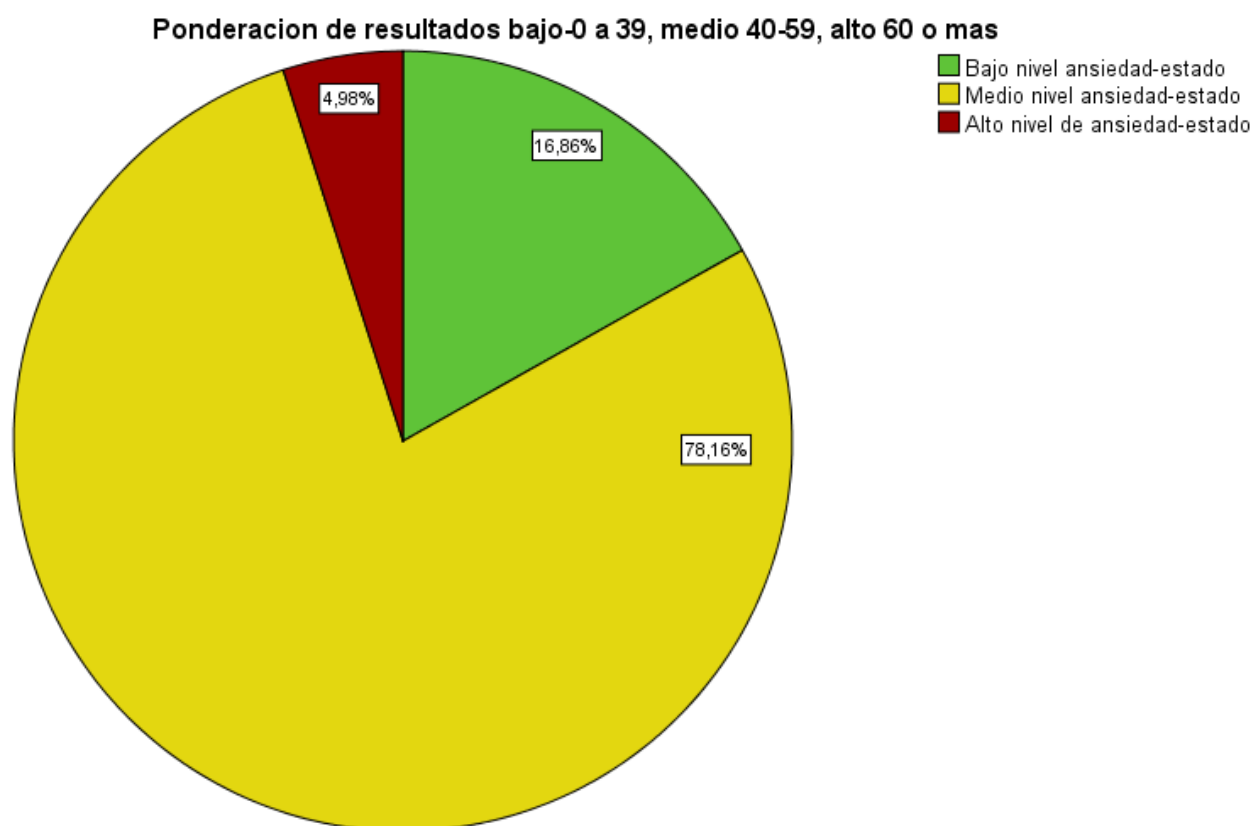
Figura 3. Porcentajes por semestre de los participantes que respondieron el cuestionario.



El STAI se divide en dos partes: ansiedad estado y ansiedad rasgo. Los resultados de la primera evalúan cómo se siente una persona en un momento y situación específicos. La clasificación es: Bajo (0-39), Medio (40-59) y Alto (60+).

Como muestra la Figura 4, el 16.86 % de los participantes presentó un nivel bajo de ansiedad, el 78.16 % un nivel medio y el 4.98 % un nivel alto. Esto indica que la mayoría experimentaba ansiedad moderada en el momento de la evaluación.

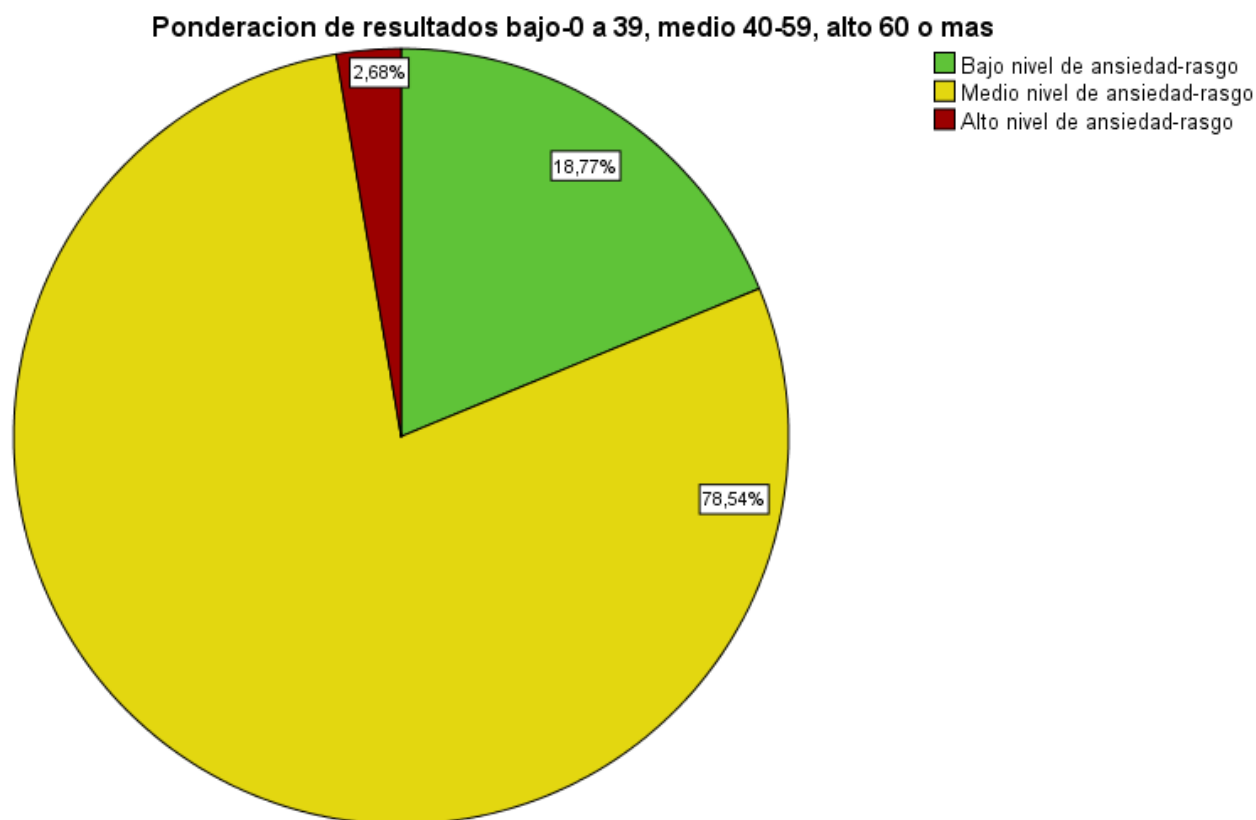
Figura 4. Porcentaje global de ansiedad estado.



La segunda parte del cuestionario evalúa la ansiedad como una característica estable, reflejando la predisposición a percibir situaciones como amenazantes y responder con ansiedad de forma habitual.

Los resultados muestran que el 78.54 % de los participantes tiene un nivel medio de ansiedad, lo que indica una tendencia moderada a la ansiedad en su vida cotidiana. Un 18.77 % presentó un nivel bajo, lo que sugiere una mejor capacidad para manejar el estrés, mientras que el 2.68 % tuvo un nivel alto, lo que podría requerir intervenciones para prevenir futuros problemas de salud mental (ver Figura 5).

Figura 5. Porcentaje global de ansiedad rasgo.

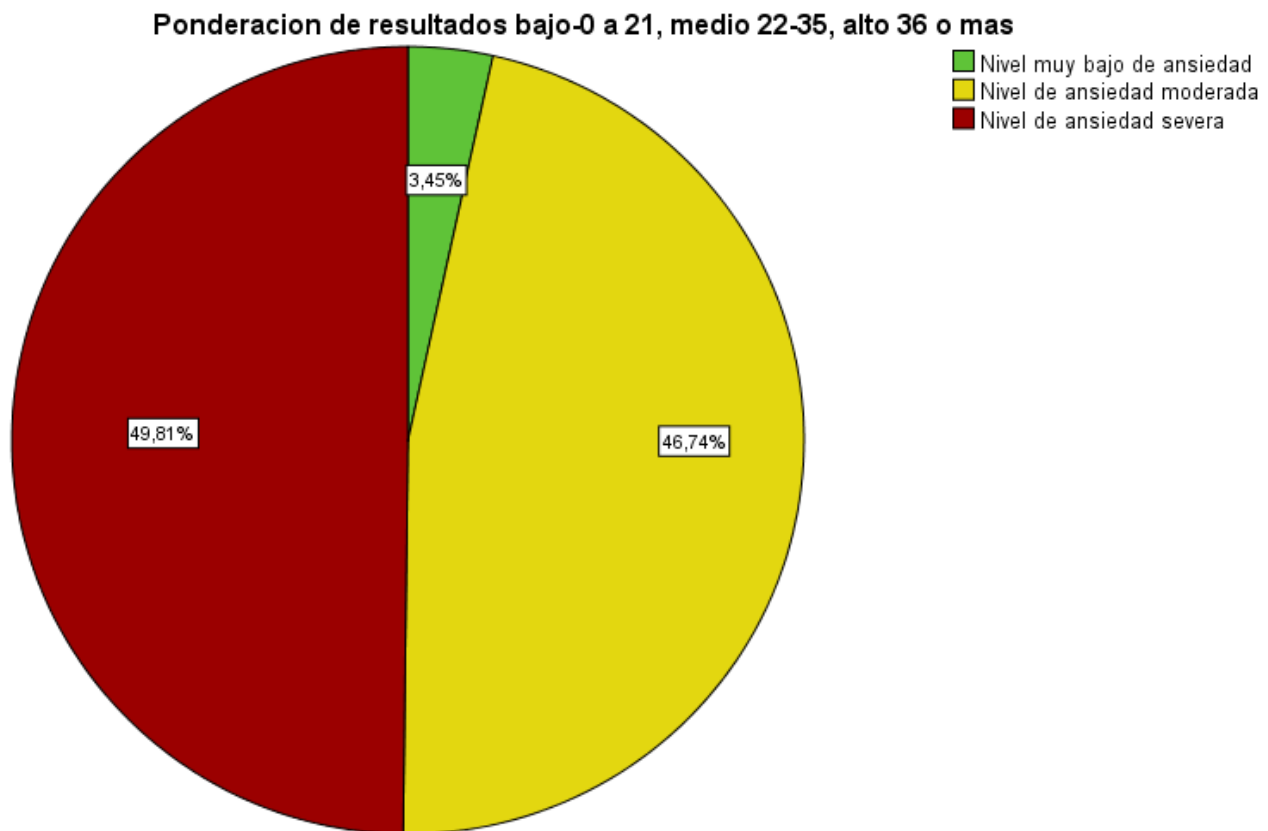


El tercer componente de los cuestionarios consta del inventario de ansiedad de Beck; este no distingue entre la ansiedad estado y rasgo, sino que se enfoca en los síntomas de ansiedad y su intensidad. La ponderación de los resultados se clasifica según la suma de los resultados de las preguntas. Bajo se clasifica en 0 a 21 puntos, medio de 22 a 35 puntos y alto se considera a partir de 36 puntos o más.

Este cuestionario proporciona información relevante para el desarrollo del dispositivo, ya que trabaja con manifestaciones fisiológicas de estrés y ansiedad como palpitaciones, temblores, sudoración, entre otros síntomas que pueden ser medibles con los sensores del prototipo.

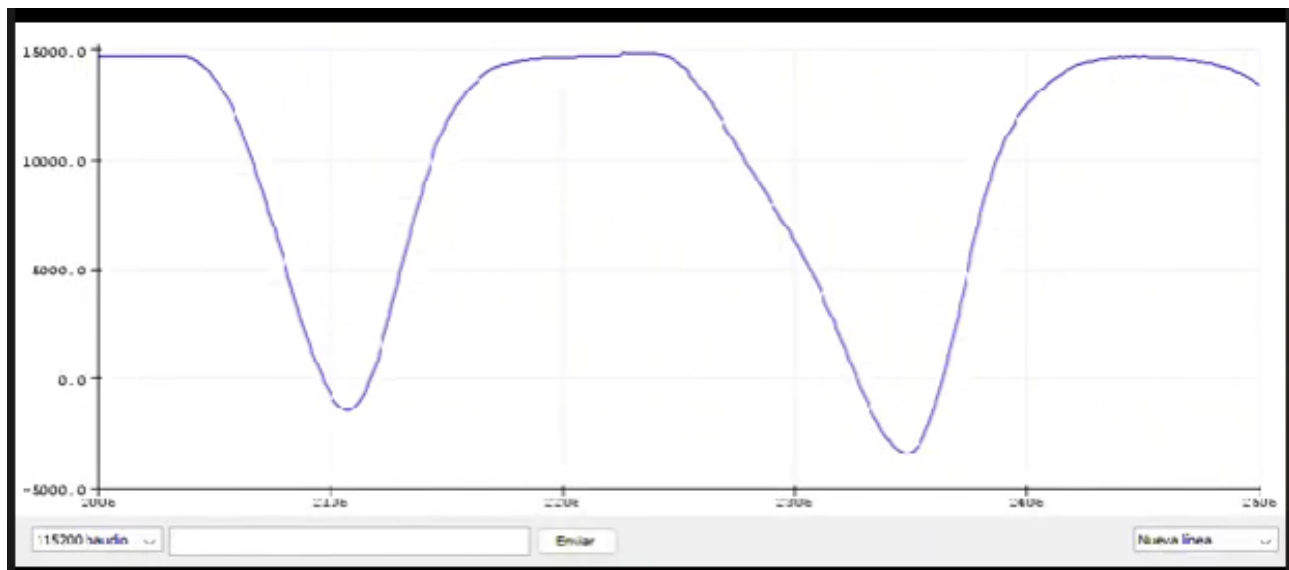
En comparación con el cuestionario de Ansiedad Rasgo-Estado, en este hubo un mayor porcentaje de participantes que presenta niveles de ansiedad severa, con un 49.81 % (Figura 6). En el caso de los niveles de ansiedad moderada, se detectó un 46.74 % de estudiantes, en cuanto a los niveles bajos de ansiedad, se reflejó una población con un 3.45 %.

Figura 6. Porcentaje global de Ansiedad Beck.



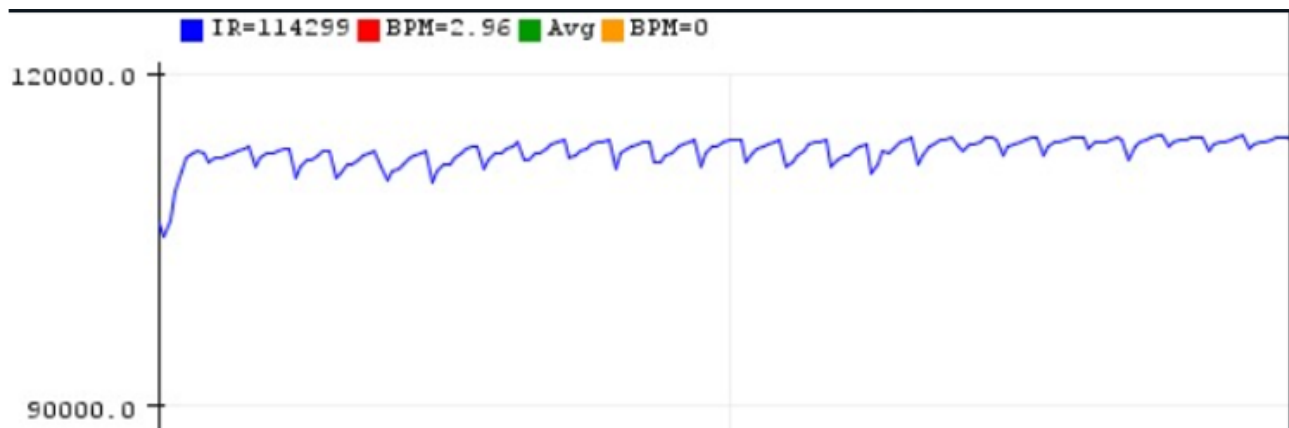
A continuación, se muestran las señales fisiológicas detectadas por los diferentes sensores y una previa visualización de la tercera etapa del proyecto.

Figura 7. Grafica de patrón respiratorio.



En la Figura 7, se presenta la gráfica de respuesta al patrón respiratorio, el cual es adquirido por medio de un acelerómetro que permite detectar el movimiento del tórax y cuantificarlo para detectar la respiración.

Figura 8. Gráfica de respuesta cardiaca.



En la Figura 8, se presenta la gráfica de la respuesta cardiaca medida por un sensor capaz de valorar la frecuencia cardiaca con un sensor en el dedo.

En la Figura 9, se presenta la gráfica de respuesta al cambio de sudoración; un sensor galvánico mide la actividad eléctrica de la piel, con ello, el usuario puede ver su cambio de estado inmediatamente, detectando así sus niveles de estrés.

Figura 9. Gráfica de respuesta al cambio en la sudoración.



6. Conclusiones

Los resultados obtenidos a través de los cuestionarios STAI y el Inventario de Ansiedad de Beck revelan que la mayoría de los estudiantes participantes experimenta niveles moderados de ansiedad, tanto en su estado emocional momentáneo como en su vida cotidiana. Estos hallazgos subrayan la importancia de desarrollar herramientas que les permitan no solo identificar sus

niveles de ansiedad, sino también gestionar de manera efectiva los síntomas asociados. El dispositivo desarrollado en este proyecto da la oportunidad de medir variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca, respiratoria y sudoración. Además, brinda una oportunidad para que los usuarios sean más conscientes de su respuesta fisiológica al estrés. Esta conciencia no solo permite un monitoreo en tiempo real, sino que también puede fomentar una mayor comprensión de cómo la ansiedad se manifiesta en el cuerpo, lo que puede mejorar el manejo emocional.

7. Agradecimientos

Este proyecto se realizó bajo la convocatoria de personas investigadoras con estancia institucional de JuventudEsGTO, en la cual participa la autora Luz Adriana Martínez Zavala. Los autores agradecen esta oportunidad, así como el financiamiento para la realización de este proyecto. Así también agradecemos a la FIT de La Salle Bajío por las facilidades brindadas para realizar las encuestas y a la Dirección de Investigación y Posgrados por el seguimiento del proyecto.

8. Referencias

- American Psychological Association. (n.d.). *Stress in America™ 2020: A National Mental Health Crisis*.
<https://www.apa.org/news/press/releases/stress/2020/report-october>
- Daniel, K. E., et al. (2023). State and Trait Emotion Regulation Diversity in Social Anxiety. *Clinical Psychological Science*, 11(5), 894-909. doi: 10.1177/21677026231151956
- Dean, E. (2016). Anxiety. *Nursing Standard*, 30(46), 15. doi: 10.7748/NS.30.46.15.S17
- Forrest, S. J., et al. (2021). Generalizability theory distinguishes between state and trait anxiety. *Psychological Assessment*, 33(11), 1080-1088.

doi: 10.1037/PAS0001060

Fujihara, Y., *et al.* (2023). Relationship between types of anxiety and the ability to recognize facial expressions. *Acta Psychologica*, 241(104100).

doi: 10.1016/J.ACTPSY.2023.104100

Gallego, J., *et al.* (2015). Effect of a mindfulness program on stress, anxiety and depression in university students. *The Spanish Journal of Psychology*, 13(17). doi: 10.1017/SJP.2014.102

Gardani, M., *et al.* (2022). A systematic review and meta-analysis of poor sleep, insomnia symptoms and stress in undergraduate students. *Sleep Medicine Reviews*, 2022(61). doi: 10.1016/J.SMRV.2021.101565

January, J., *et al.* (2018). Prevalence of depression and anxiety among undergraduate university students in low-and middle-income countries: a systematic review protocol. *Systematic Reviews*, 7(1). doi: 10.1186/S13643-018-0723-8

Leal, P. C., *et al.* (2017). Ansiedade traço versus ansiedade estado em diferentes situações de ameaça. *Trends in Psychiatry and Psychotherapy*, 39(3), 147-157. doi: 10.1590/2237-6089-2016-0044

National Institute of Mental Health (NIMH). (n.d.). *Anxiety disorders*. <https://www.nimh.nih.gov/health/topics/anxiety-disorders>

Ramón-Arbués, E., *et al.* (2020). The Prevalence of Depression, Anxiety and Stress and Their Associated Factors in College Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 1-15. doi: 10.3390/IJERPH17197001

Regehr, C., *et al.* (2013). Interventions to reduce stress in university students: a review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 148 (1), 1-11. doi: 10.1016/J.JAD.2012.11.026

Saal, W. L., *et al.* (2019). Evaluation of the Beck Anxiety Inventory in predicting generalised anxiety disorder among individuals seeking HIV testing in the Western Cape province, South Africa. *The South African Journal of Psychiatry*, 25(1336).

doi: 10.4102/SAJPSYCHIATRY V25I0.1336

Sonmez, Y., *et al.* (2023). Psychological Distress, Depression, and Anxiety in Nursing Students: A Longitudinal Study. *Healthcare*, 11(5).

doi: 10.3390/HEALTHCARE11050636

Vázquez, A. J., *et al.* (2014). Beck Anxiety Inventory: psychometric characteristics in a sample from the clinical Spanish population. *The Spanish Journal of Psychology*, 17(2). doi: 10.1017/SJP.2014.76

Vlemincx, E., *et al.* (2011). Sigh rate and respiratory variability during mental load and sustained attention. *Psychophysiology*, 48(1), 117-120.

doi: 10.1111/J.1469-8986.2010.01043.X

Área

***Medio
ambiente***

Preparación de nanopartículas de óxido de titanio dopado con cerio y su aplicación en degradación fotocatalítica de colorantes asistida con luz LED

Preparation of cerium-doped titanium oxide nanoparticles and their application in photocatalytic degradation of dyes assisted with LED light

Adriana Benítez Rico¹  /Alonso Reynoso de la Garza² 

¹Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación, Departamento de Química

Correspondencia: adriana.benitez@lasalle.mx

 ORCID ID: 0000-0002-1718-3080

²Universidad La Salle México, Facultad de Ciencias Químicas

Correspondencia: alonsozox@gmail.com

Resumen: Este trabajo presenta la síntesis y caracterización de nanopartículas de óxido de titanio dopado con cerio (TiO₂:Ce) y su aplicación en la degradación fotocatalítica del colorante Rodamina B (RhB) bajo luz LED visible. RhB es un colorante común en la industria textil, pero su alta estabilidad y solubilidad dificultan su eliminación de aguas residuales, lo que puede provocar graves problemas ambientales, como mutaciones genéticas y carcinogénesis. El fotocatalizador TiO₂:Ce se preparó mediante el método sol-gel, variando el contenido de cerio (3, 5 y 7 % en mol) para modificar el gap

del material y mejorar su actividad en el espectro visible. La caracterización se realizó mediante difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM), espectroscopia de reflectancia difusa (DRS). Se optimizaron las condiciones de degradación considerando factores como el pH y la concentración de sales. La actividad fotocatalítica se evaluó en un reactor tipo Batch, para ello se utilizó luz LED como fuente de radiación. Los resultados mostraron que las nanopartículas de $\text{TiO}_2\text{:Ce}$ con un 7 % de dopaje presentaron la mayor eficiencia en la degradación de RhB. Esta investigación valida la efectividad del fotocatalizador para el tratamiento de efluentes textiles, ofreciendo una solución viable para la remoción de colorantes contaminantes en aguas residuales.

Palabras clave: nanopartículas; óxido de titanio dopado con cerio; degradación fotocatalítica; rodamina B; luz LED visible.

Abstract: This study presents the synthesis and characterization of cerium-doped titanium dioxide nanoparticles ($\text{TiO}_2\text{:Ce}$) and their application in the photocatalytic degradation of the dye Rhodamine B (RhB) under visible LED light. Rhodamine B is a common dye in the textile industry; however, its high stability and solubility hinder its removal from wastewater, potentially leading to severe environmental issues such as genetic mutations and carcinogenesis. The $\text{TiO}_2\text{:Ce}$ photocatalyst was prepared using the sol-gel method, varying the cerium content (3, 5, and 7 mol%) to modify the material's band gap and enhance its activity in the visible spectrum. Characterization was conducted using X-ray diffraction (XRD), high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM), diffuse reflectance spectroscopy (DRS). Degradation conditions were optimized by considering factors such as pH and salt concentration. Photocatalytic activity was assessed in a batch reactor, utilizing LED light as the radiation source. The results indicated that $\text{TiO}_2\text{:Ce}$ nanoparticles with 7% doping exhibited the highest efficiency in degrading RhB. This research validates the effectiveness of the photocatalyst for treat-

ing textile effluents, providing a viable solution for the removal of contaminating dyes from wastewater.

Keywords: cerium-doped; titanium dioxide nanoparticles; photocatalytic degradation; visible LED light.

1. Introducción

La remoción de colorantes de aguas residuales presenta una gran dificultad gracias a su alta estabilidad y solubilidad (Zhao, 2022). En este sentido, los procesos de oxidación avanzada (POA) han resultado eficientes para la degradación de estos compuestos hasta especies inocuas para el medio ambiente (Isari, 2018). La fotocatálisis es un tipo de POA en el que un catalizador es capaz de oxidar un compuesto químico bajo la radiación que provoca la ruptura de enlaces débiles en la estructura del contaminante, logrando su mineralización, ya que los productos finales pueden ser CO_2 y H_2O (Wu, 2022). Uno de los semiconductores más usados es el TiO_2 gracias a su poder de oxidación, además de su inocuidad, estabilidad química y costo bajo (Caglar, 2022). El TiO_2 presenta diversas formas cristalinas, de las cuales la fase llamada anatasa presenta mejores aplicaciones fotocatalíticas. El problema es que la energía de activación necesaria para que el material se active está fuera del espectro visible. Al dopar TiO_2 con lantánidos, es posible modificar la brecha prohibida del material y lograr el corrimiento a la zona visible a través de la introducción de orbitales tipo f, además de facilitar la estabilización de la fase anatasa. En este trabajo se prepararon nanopartículas de titania utilizando cerio como metal dopante, ya que presenta una buena opción por su habilidad de cambiar entre valencias de 4+ y 3+ en reacciones de oxidación (Wang, 2010).

2. Objetivo general

Desarrollar y caracterizar nanopartículas de óxido de titanio dopado con cerio, evaluando su eficacia en la degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos, con el fin de contribuir a la mejora de procesos de purificación ambiental mediante tecnologías sostenibles.

3. Antecedentes

Los colorantes, como la Rodamina B (RhB), son ampliamente utilizados en la industria textil. Sin embargo, su alta estabilidad y solubilidad dificultan su eliminación de las aguas residuales, lo que puede resultar en graves problemas ambientales, incluyendo mutaciones genéticas y carcinogénesis. La fotocatálisis se ha identificado como un proceso de oxidación avanzada (POA) efectivo para la degradación de compuestos contaminantes. Este proceso utiliza un catalizador que, bajo radiación, puede oxidar compuestos químicos y mineralizarlos a productos menos nocivos. El dióxido de titanio (TiO_2) es uno de los semiconductores más utilizados en fotocatálisis debido a sus propiedades. En la actualidad se propone el dopaje con tierras raras como el cerio (Ce) como una estrategia para modificar las propiedades ópticas y electrónicas del TiO_2 , mejorando su actividad en el espectro visible. Investigaciones previas han demostrado que el contenido de cerio puede influir en el ancho del band gap del material, lo que a su vez perjudica su eficiencia fotocatalítica.

4. Metodología

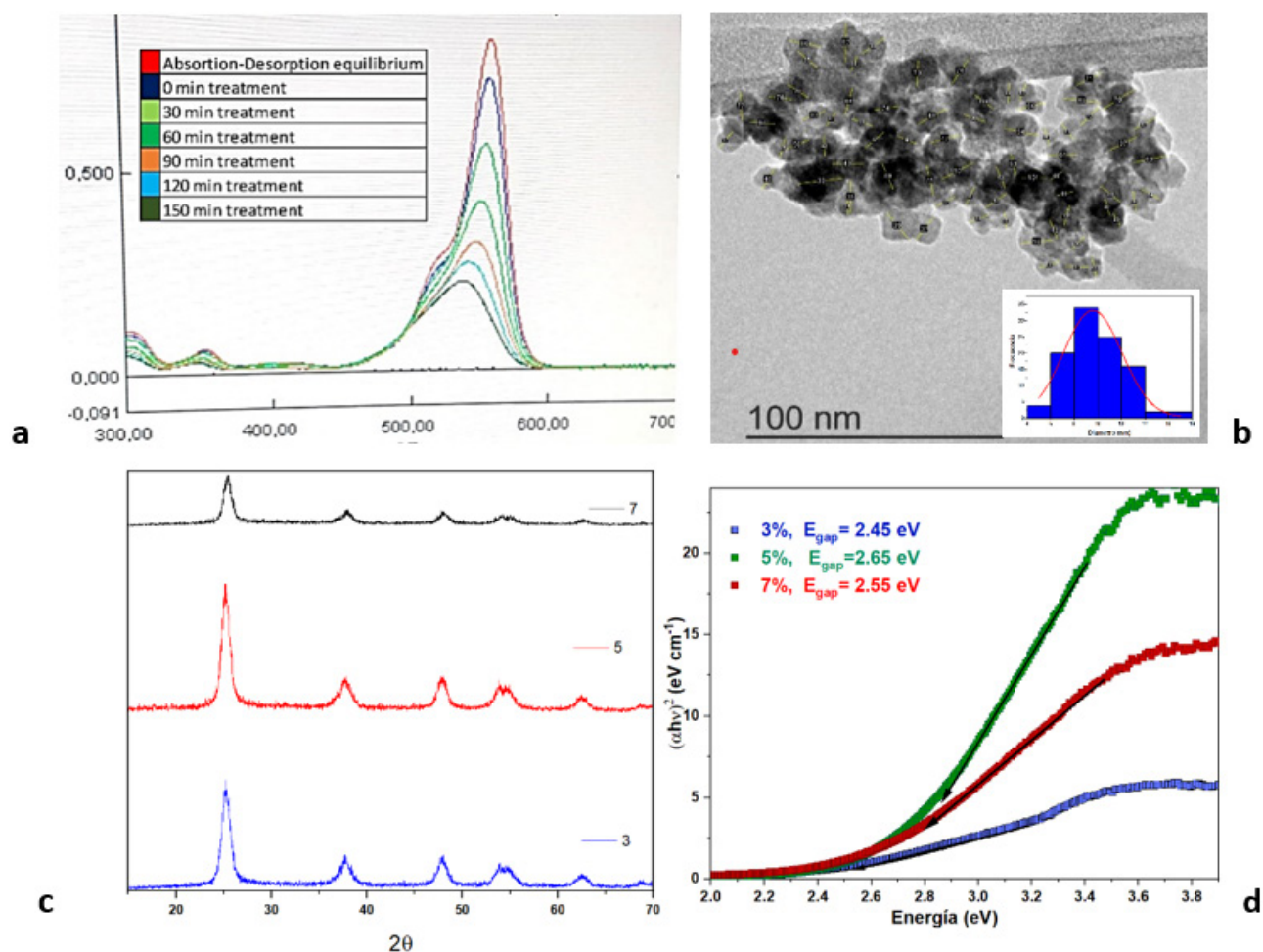
Para la síntesis sol-gel se utilizaron como reactivos butóxido de titanio y nitrato de cerio (como precursores metálicos), el dopante se usó con las cantidades molares de cerio de 3, 5 y 7 %. De las estructuras de monitoreo por difracción de rayos X, se obtuvieron los espectros de reflectancia difusa para determinar el gap, el material y HRTEM para monitorear la morfología y

distribución del tamaño. Las pruebas fotocatalíticas se realizaron en un reactor tipo batch, con radiación y fuentes de luz LED de luz blanca de 7.5 W. El reactor operó con 100 ml de solución de Rodamina B a 5 ppm. Los fotocatalizadores se probaron en diferentes cantidades, tomando alícuotas a diferentes tiempos para monitorear. Se aplicó la metodología de Superficie de Respuesta (RSM) para optimizar los parámetros de degradación en condiciones relevantes para el tratamiento de efluentes reales (pH, concentraciones de NaCl y Cu).

5. Resultados

De los catalizadores sintetizados $\text{TiO}_2\text{:Ce}$ al 7 %, se muestran mejores resultados en las dinámicas de degradación con luz LED visible. En la Figura 1a, se observa que, a los 150 minutos, los espectros visibles muestran una disminución significativa de RhB. En la Figura 1b, la micrografía con el diagrama de distribución de tamaño de partículas revela que el tamaño promedio de las partículas es de 9 nm. En la imagen 1c, se encuentra el difractograma que indexa para la fase de anatasa. En la imagen 1d), están los diagramas de Tauc para la determinación del gap de las muestras; los valores determinados son de energía del visible (~ 2.5 ev).

Figura 1. Resultados de las dinámicas de degradación.



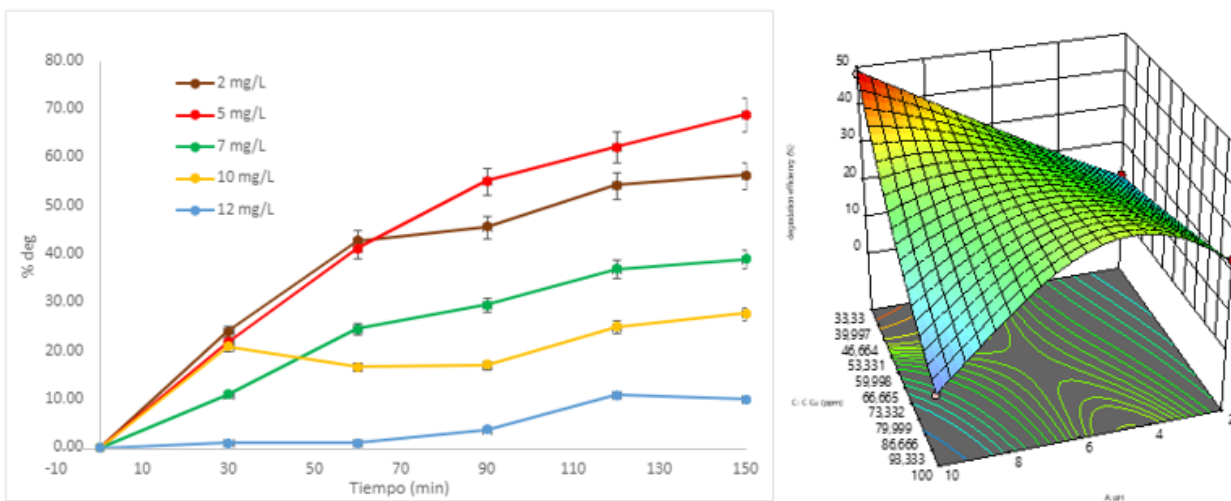
Nota: a) Espectros visibles de RhB 5 ppm catalizador TiO₂:Ce al 7 %; b) HR-TEM TiO₂:Ce al 7 % , nanoestructuras, tamaño de grano ~ 30 nm; c) Difractogramas de Rayos X para TiO₂:Ce al 3, 5 y al 7 %, se indexan para anatasa como fase única; d) Evaluación del gap de material a partir de los espectros de DRS, todos se encuentran en el visible.

La Figura 2 muestra el comportamiento cinético de la degradación de RhB con diferentes concentraciones iniciales; es más eficiente en presencia de 5 ppm de RhB. La cinética sigue un modelo de pseudo primera orden, y los datos cinéticos se ajustan bien a esta relación. Las condiciones óptimas ob-

servadas para este sistema son 40 mg de catalizador Ce-TiO₂ al 7.0 %. Estas condiciones se utilizan para la optimización mediante superficie de respuesta. Se investigó el efecto de parámetros ambientales como pH, concentraciones de NaCl y Cu en la fotodegradación.

Se creó un modelo para expresar la relación matemática entre el pH (2, 6 y 10), NaCl (33.33, 66.67 y 100 ppm) y Cu (33.33, 66.67 y 100 ppm) en la fotocátalisis de Rodamina B en presencia de Ce- TiO₂, bajo luz visible LED. El modelo comprendió trece experimentos, para validarlo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Se estableció una ecuación de modelo polifuncional basada en los datos del diseño experimental que describe el proceso de fotocátalisis. El pH desempeña el papel más significativo en la degradación fotocatalítica de RhB. La mejor condición es pH 10, concentración de NaCl 66.67 ppm y concentración de Cu 33.33 ppm.

Figura 2. Efecto de concentración de RhB y gráfico de eficiencia de degradación, con variaciones de factores pH, C_{NaCl} and C_{Cu}



6. Conclusiones

En este estudio, se sintetizó TiO_2 dopado con cerio, activo bajo luz visible, en tres porcentajes de dopado (3, 5 y 7 %) mediante el método sol-gel. La caracterización estructural y óptica reveló una respuesta a la luz visible, indicando el papel del cerio en la generación de nanoestructuras. Se hizo un estudio integral de la degradación de Rodamina B bajo luz LED visible, optimizando condiciones para obtener eficiencias del 70 % con un 7 % de dopado de cerio. La metodología de superficie de respuesta demostró que el pH es crucial, y es relevante para aguas residuales textiles con altos valores de pH.

7. Referencias

- Caglar, S., *et al.* (2022). Facile synthesis of TiO_2 -coated cotton fabric and its versatile applications in photocatalysis, pH sensor, and antibacterial activities. *Materials Chemistry and Physics*, 287, 126342. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126342>
- Isari, A. A., *et al.* (2018). Photocatalytic degradation of rhodamine B and real textile wastewater using Fe-doped TiO_2 anchored on reduced graphene oxide (Fe- TiO_2/rGO): Characterization and feasibility, mechanism and pathway studies. *Applied Surface Science*, 462, 549-564. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.133>
- Wang, H., *et al.* (2010). Preparation of cerium-doped TiO_2 film on 304 stainless steel and its bactericidal effect in the presence of sulfate-reducing bacteria (SRB). *Materials Chemistry and Physics*, 124, 791-794. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.07.063>
- Wu, J., *et al.* (2022). Definition of photocatalysis: Current understanding and perspectives. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 33, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100580>
- Zhao, B., *et al.* (2022). Boosting the adsorption and removal of dye from water by COOH -functionalized carbon nanotubes. *Green Chemistry Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2022.05.002>

8. Bibliografía

- Chadelaud, T., *et al.* (2023). Comparative Study of Rhodamine B Treatment: Assessing of Efficiency Processes and Ecotoxicity of By-Products. *Processes*, 11(9), 2671. <https://doi.org/10.3390/pr11092671>
- De la Garza, A. R., *et al.* (2024). Visible LED active photocatalyst based on cerium doped titania for Rhodamine B degradation: Radical's contribution, stability and response surface methodology optimization. *Materials Science In Semiconductor Processing, ScienceDirect*, 176, 108349. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2024.108349>

Diseño e instalación de un sistema para el tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial en una población de Los Altos de Jalisco

Design and installation of a system for wastewater treatment using an artificial wetland in a town in The Highlands of Jalisco

Aldo Antonio Castañeda Villanueva¹  / Roberto Huerta Orozco²  / Amelia Nayeli López Cerpa³ 

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos, Departamento de Ingenierías

² Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Industrial

³ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Industrial

Correspondencia: acastaneda@cualtos.udg.mx

 ORCID ID:0000-0002-3818-9342¹

Resumen: Los humedales artificiales son sistemas naturales alternativos utilizados para el saneamiento de aguas residuales domésticas, que presentan ventajas como calidad aceptable del agua tratada, bajos costos de instalación, operación y mantenimiento. El principal objetivo del presente trabajo es el diseño e instalación de un sistema para el saneamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial en una población de

Los Altos de Jalisco. El sistema de tratamiento completo incluye: el pretratamiento en el que se retienen, tanto sustancias ligeras (plásticos, grasas y aceites) por flotación, como pesadas (minerales y metales) por sedimentación. El humedal diseñado con el modelo de Reed del tipo subsuperficial, con flujo horizontal con una superficie de 1800 m² y capacidad para 129.6 m³/día, aprovecha especímenes de plantas endémicas de la región como el tule (*Typha latifolia*) y el tezontle rojo como sustrato. Asimismo, el postratamiento incluye la sección para el control bacteriológico por cloración y una laguna de estabilización. El sistema requirió de cuatro a ocho meses para el acondicionamiento, crecimiento y propagación de las plantas, así como para que se establezcan las condiciones adecuadas en el hábitat de los microorganismos, principales responsables del tratamiento. El agua tratada es reutilizada en el riego de cultivos.

Palabras clave: Altos de Jalisco, México; humedal construido, saneamiento de efluentes.

Abstract: Constructed wetlands are alternative natural systems used for the sanitation of domestic wastewater, which have advantages such as acceptable quality of the treated water, low installation, operation and maintenance costs. The main objective of this work is the design and installation of a system for the sanitation of domestic wastewater through an artificial wetland in a town in Los Altos de Jalisco. The complete treatment system includes: pretreatment in which both light substances (plastics, fats and oils) are retained by flotation, and heavy substances (minerals and metals) by sedimentation. The wetland designed with the Reed model of the subsurface type, with horizontal flow with a surface of 1800 m² and capacity for 129.6 m³/day, takes advantage of specimens of endemic plants of the region such as tule (*Typha latifolia*) and red tezontle as substrate. Likewise, the post-treatment includes the section for bacteriological control by chlorination and a stabilization lagoon. The system required four to eight months for the conditio-

ning, growth and propagation of the plants, as well as for the appropriate conditions to be established in the habitat of the microorganisms, mainly responsible for the treatment. The treated water is reused to irrigate crops.

Keywords: constructed wetland; effluent sanitation; Altos de Jalisco, México.

1. Introducción

1.1. Objetivo principal

Diseño e instalación de un sistema para el saneamiento de aguas residuales domésticas con capacidad para 129.6 m³/día, mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial en una población de Los Altos de Jalisco.

Objetivos complementarios:

- Caracterización y determinación del caudal de las aguas residuales domésticas que llegan al predio de retención.
- Levantamiento topográfico y estudio de mecánica de suelos en sitio para la instalación del sistema de tratamiento.
- Operación y optimización del sistema de tratamiento.
- Reutilización controlada de agua tratada (para la agricultura, recarga artificial del acuífero).

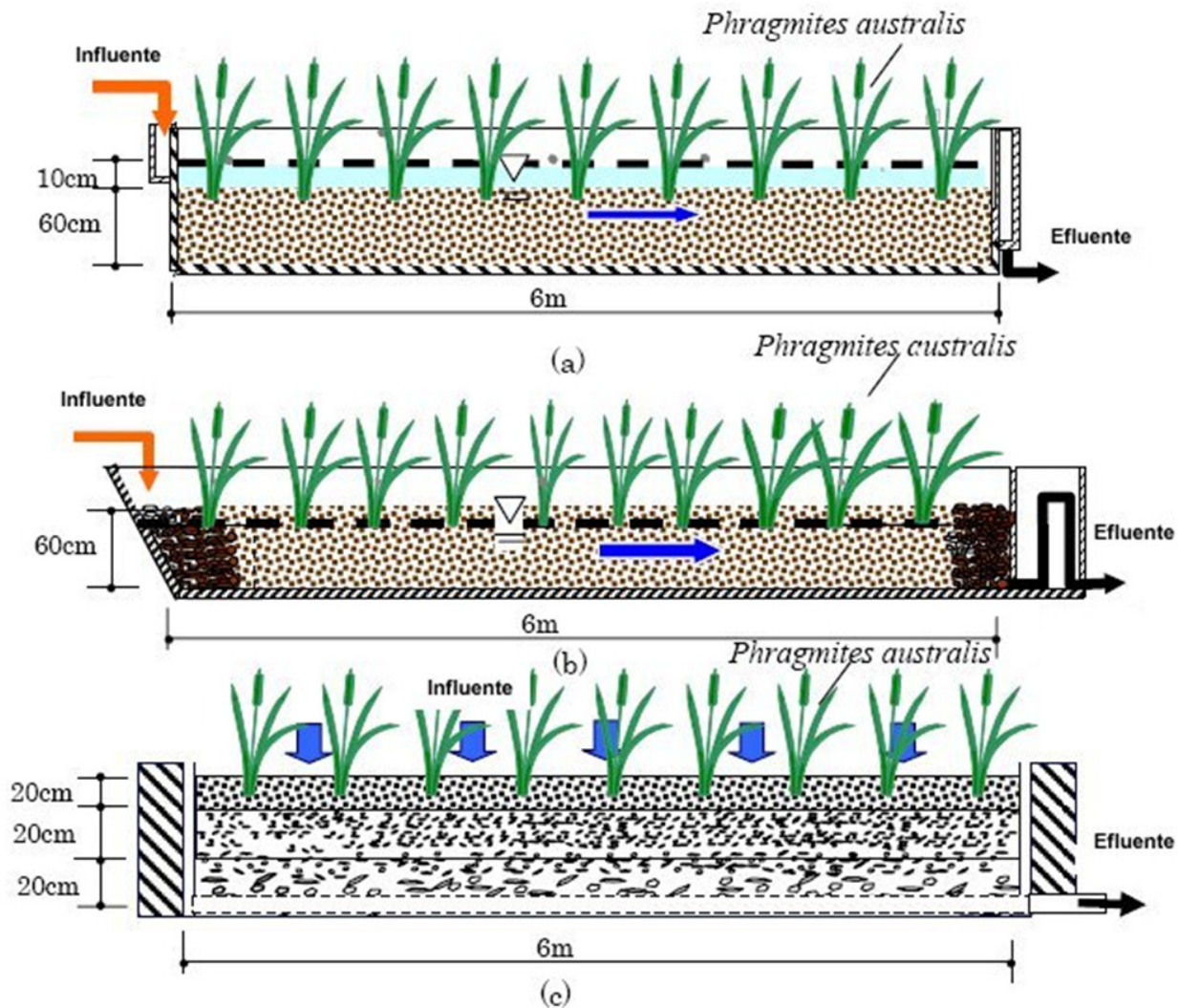
2. Antecedentes

Los HA son sistemas alternativos para el saneamiento de aguas residuales, principalmente de origen doméstico, así mismo, se utilizan como tratamientos secundarios para otros tipos de aguas residuales (comerciales e indus-

triales). Se deben instalar en terrenos con alto grado de impermeabilidad para evitar riesgos de contaminación, tanto de los suelos como de los mantos freáticos y acuíferos. Estos sistemas alternativos presentan ventajas como una calidad aceptable del agua tratada, bajos costos de instalación, operación y mantenimiento. En general, simulan y potencian los procesos que tienen lugar de manera espontánea en los humedales naturales (fitodepuración), mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Delgadillo *et al.*, 2010). Las principales plantas utilizadas en los HA son las macrófitas, es decir, aquellas que viven y se desarrollan en un ambiente hídrico (Fernández *et al.*, 2014).

Su construcción e instalación se realiza en terrenos impermeables para evitar las infiltraciones y posibles contaminaciones de acuíferos subterráneos. Según su flujo horizontal se pueden clasificar en a) superficiales (HAS); b) subsuperficiales (HASS) y de flujo vertical; c) normalmente HASS (Figura 1).

Figura 1. Diferentes tipos de HA para tratamiento de aguas residuales domésticas.



Fuente: Navarro; Vázquez, 2012.

Los HAS se caracterizan por el hecho de que el agua está en contacto directo con la atmósfera, tal como en los humedales naturales. En esencia, son una variación de los sistemas de lagunas convencionales (USEPA, 2000), y deben ser instalados sobre superficies de terrenos con alto grado de impermeabilidad para evitar infiltraciones de contaminantes en los mantos freáticos.

En los HASS, el agua no está en contacto con la atmósfera, sino que se encuentra en el sustrato, donde se realizan las reacciones biológicas debido a la actividad de los microorganismos. Se clasifican según la circulación en Horizontal, Vertical y/o Mixto, estos pueden requerir menos terreno que un HAS para tratar la misma cantidad de aguas residuales. Generalmente, consisten en canales de poca profundidad, con un sustrato para las raíces de las plantas macrófitas emergentes, tales plantas proporcionan sombra que evita el crecimiento de algas (Martínez, 2014).

2.1 Ventajas y desventajas

Las principales ventajas y desventajas entre los sistemas de tratamiento mediante HA y los sistemas convencionales son las siguientes (Kadlec; Wallace, 2009).

Ventajas. Sus requerimientos de electricidad, equipos mecánicos y personal altamente capacitados son mínimos:

- Los costos de construcción, operación y mantenimiento son menores a los de los métodos mecánicos.
- Sirven como tratamiento secundario a excepción de bajas temperaturas.
- Son agradables a la vista; se asemejan a un jardín.
- Generación limitada de biosólidos y lodos residuales, no requieren tratamiento adicional.
- Son muy efectivos en la remoción de demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), metales y compuestos orgánicos, según las condiciones climatológicas. El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) es relativamente corto. Sin embargo, para la disminución del contenido de nitrógeno y fósforo se requiere TRH significativamente mayores.

- Como el agua no se encuentra en contacto con la atmósfera, se evita la generación de problemáticas relacionadas con mosquitos u otros insectos.

Desventajas. Se requieren grandes terrenos, principalmente si es necesario remover grandes cantidades de nitrógeno y fósforo:

- El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes se acumulan con el tiempo en los sedimentos.
- Las bajas temperaturas ocasionan una disminución sensible en la remoción de los contaminantes, incluyendo la DBO.

2.2. Principales factores a considerar para el diseño del HA para el tratamiento de aguas

Los principales factores que se deben de tomar en cuenta para el diseño del sistema para el saneamiento de aguas residuales domésticas mediante HA son:

1) Hidrología. Como rama de las ciencias de la tierra, estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los diversos cuerpos de agua y la atmósfera terrestre; de esta dependerá la buena operación y funcionalidad (Fernández *et al.*, 2014), así mismo un factor que afecta la hidrología del HA es la cantidad de plantas combinada con su distribución, obstruyendo el movimiento del agua cuando intenta pasar a través de las diferentes partes de las plantas y, por lo tanto no permite su paso de manera adecuada. Los humedales, al tener bajas profundidades y grandes áreas, realizan una interacción mutua con la atmósfera mediante la lluvia y la evapotranspiración.

2) Plantas. Funcionan como filtro, propiciando la separación de partículas.

Conducen el oxígeno a través de las raíces, el cual es necesario para algunos microorganismos, sirven como soporte, propiciando el desarrollo de biopelículas y asimilan de manera directa nitrógeno, fósforo y metales (Hoffmann *et al.*, 2011). El tipo de plantas usadas en los HA son de tipo hidrófitas, que son plantas acuáticas. Una de sus funciones es oxigenar el agua por medio de las raíces; se pueden clasificar en:

a) Sumergidas. La planta se encuentra dentro del agua, por lo tanto, todo el oxígeno pasa directamente al agua. Dentro de este grupo, las más usadas son el *Ranunculus aquatilis* (ranúnculo de agua) y el *Potamogeton spp.*

b) Anfibias. Son un tipo de plantas macrófitas que tienen la característica de enraizarse en zonas inundadas, con una parte sumergida y otra emergente. Las más comunes para uso en los humedales son aneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncos (*Juncus*), *Scirpus*, *Carex*, entre otras (Andreo, 2014).

c) Flotantes. Se encuentran flotando libremente en la superficie del agua. Se pueden clasificar en plantas de libre flotación (presentan raíces suspendidas), y plantas flotantes enraizadas (sus raíces están ancladas al fango del humedal). Estas plantas generan sombra, lo que dificulta la proliferación de las algas (Gujar, 2022). Se debe tener cuidado, ya que pueden llegar a ser invasivas, alterando de manera negativa el funcionamiento del humedal. Así mismo, las especies mayormente usadas en sistemas de tratamientos acuáticos de aguas son la lenteja de agua (*Lemna minor*) y el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) (Brink *et al.*, 2013).

Para la adecuada selección de los especímenes de las plantas en la instalación del HA, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Utilizar plantas nativas de la región y evitar especies exóticas.
- Seleccionar especies que tienen la capacidad de crecer en aguas saturadas, como las plantas que se encuentran en humedales naturales o en las orillas de los ríos, las cuales se encuentran habituadas a estos medios.
- Elegir plantas con raíces extensas y sistemas de rizomas subterráneos.
- Las plantas deben tener la capacidad de soportar pequeños lapsos de sequía, así como de tolerar periodos de inundación (LaHorra, 2003).

3) Sustrato. Es parte esencial del HA, puede ser arena, grava o rocas. Es el lugar donde se realizan múltiples reacciones y procesos que tendrán como resultado la depuración del agua. Su importancia radica en sus funciones:

- Sirve como soporte para muchos de los organismos que viven en el humedal.
- Gran cantidad de reacciones, sobre todo microbianas, se llevan a cabo dentro del sustrato.
- Los restos de las plantas se acumulan, originando que la cantidad de materia orgánica aumente, dando lugar al intercambio de materia y a la fijación de microorganismos.
- Es una fuente de carbono necesaria para que diversas reacciones biológicas se puedan generar en el humedal.
- El tamaño del sustrato influye en el flujo hidráulico del humedal. Al aumentar el flujo sube, pero disminuye la capacidad de filtración y absorción. En caso contrario, si disminuimos el tamaño del sustrato, baja el flujo del humedal, aumentando la capacidad de filtración y absorción (Ferrer; Seco, 2008).

4) Microorganismos. Para su crecimiento requieren carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor. Los microorganismos autótrofos pueden sintetizar materia orgánica partiendo de las sustancias minerales; los heterótrofos necesitan de la materia orgánica para su desarrollo y sostenimiento (Vargas, 2010; Gil *et al.*, 2013).

5) Caracterización de las aguas residuales a tratar. Existen distintos tipos de contaminantes del agua, y las aguas residuales de las grandes urbes son las que mayormente contribuyen a agudizar este problema (Castañeda; Flores, 2013). La contaminación del agua se entiende como la incorporación de materias extrañas que pueden ser microorganismos, productos químicos, residuos industriales y aguas residuales (USEPA, 2000).

En términos generales, la contaminación deteriora la calidad de las fuentes de agua, limitando sus posibles aprovechamientos y generando desequilibrios ambientales, económicos y sociales (Lara, 1999).

3. Metodología

El sistema para el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico mediante HASS se instaló en el municipio de San Diego de Alejandría (SDA), localizado en la región Altos-Norte de Jalisco, en las coordenadas geográficas: 20°59'29.76" latitud norte y 101°59'24.00" de longitud oeste. Se ubica su cabecera municipal, a 1939 metros sobre el nivel del mar (msnm). Limita al norte con el municipio de Unión de San Antonio, al sur con Arandas, al este con el estado de Guanajuato y al oeste con el municipio de San Julián. Su climatología es mayormente semicálido-semihúmedo, con temperatura media anual de 17.1°C, con un promedio de precipitación anual de 718 milímetros (mm) (IIEG, 2023). Según el Censo de Población y Vivienda 2020, en la cabecera municipal habitaban 6025 personas (INEGI, 2023).

Las fuentes de recursos hídricos del municipio están constituidas por aguas subterráneas y aguas superficiales (ríos y embalses). El territorio está ubicado dentro de tres acuíferos, de los cuales el 100 % no tiene disponibilidad y se encuentran sobreexplotados, así mismo, el 83.4 % de las fuentes superficiales presentan déficit de disponibilidad (Conagua, 2021).

Una parte importante de las aguas residuales generadas en la población de SDA, aproximadamente 1.5 litros por segundo (lps) son descargadas en la periferia de la zona urbana en un predio ubicado por la carretera federal 302 rumbo a Unión de San Antonio, a 150 m de la intersección con la carretera federal 304. En este lugar, se retenían en una laguna de almacenamiento (Figura 2) para posteriormente descargarlas en arroyos por gravedad. En este predio se instaló el sistema de tratamiento mediante HASS.

Figura 2. Laguna de captación para las aguas residuales de SDA.



Fuente: Elaboración propia.

Con el modelo de Reed (Castañeda et al., 2018), se diseñó el sistema para el saneamiento de aguas residuales domésticas mediante HASS de flujo horizontal, consistente en pretratamiento, en el que se retienen, tanto sustancias ligeras por flotación (plásticos, grasas y aceites), como pesadas por

sedimentación (minerales y metales). HAFSS que dispone de tezontle rojo como sustrato y especímenes de plantas endémica de la región (tule). El post-tratamiento incluye una etapa de cloración y laguna de estabilización.

Para los análisis paramétricos de las muestras de agua a la entrada y a la salida del sistema de tratamiento, se utilizaron los siguientes equipos de la marca HACH:

1) Medidor portátil modelo Sension+EC5 con sonda 5060 (Figura 3).

Figura 3. Medidor portátil modelo Sension+ EC5.



Fuente: HACH, 2018.

2) Reactor para digestión digital DRB-200 (Figura 4).

Figura 4. Reactor digital para digestión DRB-200.



Fuente: HACH, 2018.

3) Espectrofotómetro DR-2800 (Figura 5).

Figura 5. Espectrofotómetro DR-2800.



Fuente: HACH, 2018.

4. Resultados

I) Caracterización y determinación del caudal de las aguas residuales.
Se tomaron muestras y aforos en la población de SDA durante el periodo de noviembre del 2022 y abril del 2023, los resultados aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del agua residual cruda (entrada).

PARÁMETRO (mg/L)	PROMEDIO
Gasto (m ³ /día)	129.6
DBO	655
DQO	1130
Fósforo	32
Grasas y aceites	74
Nitrógeno total	82
Sólidos suspendidos totales	2530

II) Levantamiento topográfico y estudio de mecánica de suelos. El sistema de tratamiento se instaló en donde se depositaron los efluentes de SDA por más de 8 años. El terreno ya había sido impactado, por tanto, el levantamiento topográfico (curvas de nivel), como la mecánica de suelos (altamente impermeable) fueron favorables. No obstante, se incluyó una cubierta de geomembrana de 1 mm de espesor, tanto en la celda para el HA, como en el estanque de amortiguación del postratamiento. Con este proyecto se mejoró ambientalmente la zona geográfica donde se construyó dicho sistema.

III) Diseño de la celda para el HASS. El sustrato seleccionado consistió en grava roja de origen volcánico de 1 a 3 cm, con porosidad del 42.7 % ($n=0.427$). Se designó una profundidad estándar de sustrato de 0.6 m ($h=0.60$). De igual forma, se consideró flujo laminar tipo pistón, en ausencia de restricciones.

Referente a los parámetros del agua tratada que sale del sistema de tratamiento, se tomó como base a la normatividad oficial vigente, principalmente las normas:

a) NOM-001-SEMARTAN-1996

b) NOM-003-SEMARNAT-1997

Así, los datos básicos para el diseño de HASS, según el modelo seleccionado, aparecen en la Tabla 2:

Tabla 2. Datos para el diseño del sistema de tratamiento mediante HASS.

PARÁMETRO (UNIDAD)	ID	PROMEDIO
Gasto promedio ($\text{m}^3/\text{día}$)	Q	129.6
Concentración de DBO agua cruda (mg/L)	Co	655
Concentración de DBO agua tratada (mg/L)	Ce	20
Porosidad sustrato (%)	n	42.7
Profundidad sustrato (m)	h	0.60
Temperatura promedio de campo ($^{\circ}\text{C}$)	T	18

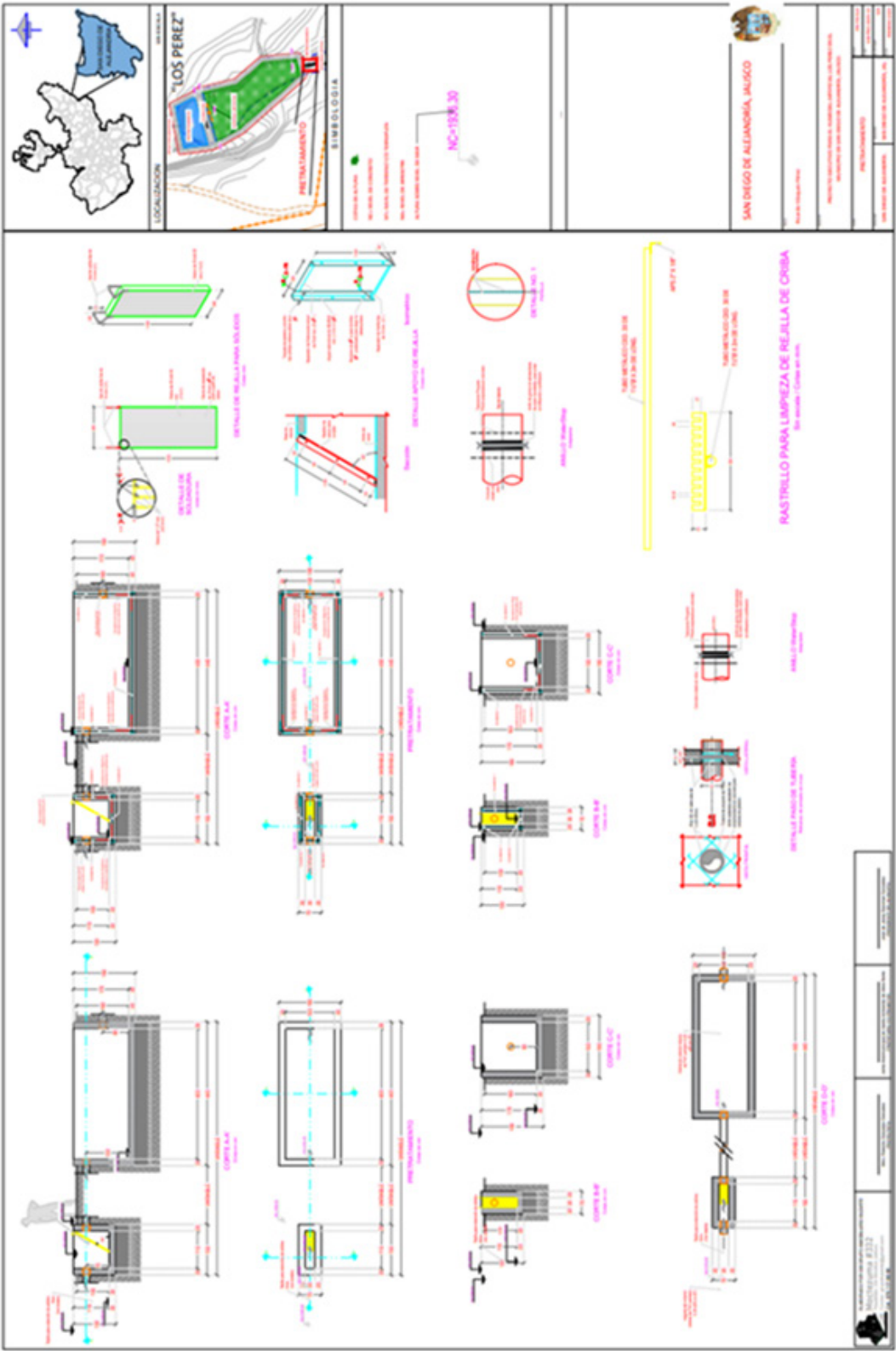
Resumen de la memoria de cálculo para el diseño del sistema de tratamiento mediante HASS:

Pretratamiento (Figura 6). Las dimensiones y características operativas del pre-tratamiento aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones y características operativas del pretratamiento.

Dimensión/parámetro (unidad)	Valor
Superficie (m^2)	7.4
Profundidad nominal (m)	1.0
Capacidad almacenamiento (m^3)	9.3
Tiempo de retención (hrs)	1.7

Figura 6. Plano constructivo del pretratamiento SDA.



Fuente: Elaboración propia.

b) Celda para el HASS (figura 7). Al considerar tanto las condiciones climatológicas como las características topográficas de la región donde se instala el sistema de tratamiento, se propone la utilización del modelo de Reed (Castañeda *et al.*, 2018), para el cálculo y diseño del HASS. De esta manera, determinado el valor de la constante de velocidad de la reacción (K_t), de acuerdo con la temperatura promedio de 18 °C y la variable de DBO, tenemos según el modelo de Reed:

$$K_t = K_{20}(1.06)^{\exp(T-20)}$$

Donde Reed sugiere:

$$K_{20} = 1.104/\text{día}$$

Así:

$$K_t = 1.104(1.06)^{\exp(18-20)}$$

$$K_t = 0.982556/\text{día}$$

Con este valor de K_t , es posible determinar el área superficial mediante la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{(K_t n h)}$$

Donde:

A_s : Área superficial del HASS (m^2)

Q : Caudal promedio ($\text{m}^3/\text{día}$)

C_o : DBO en el agua cruda (a la entrada del humedal) (mg/L)

C_e : DBO en el agua tratada (a la salida del humedal) (mg/L)

Kt : Constante de velocidad de la reacción, dependiente de la temperatura (1/día)

n : porosidad del material que forma el sustrato (fracción decimal)

h : profundidad del sustrato (m)

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$As = (129.6(\ln 655 - \ln 20)) / ((0.982556)(0.427)(0.60))$$

$$As = 1796.21 \text{ m}^2 \text{ (figura 5)}$$

Para determinar el tiempo de retención hidráulica (TRH), utilizamos la ecuación:

$$TRH = (As)(h)(n) / Q$$

Sustituyendo valores:

$$TRH = (1796.21) (0.60) (0.427) / (129.6)$$

Por tanto, $TRH = 3.55$ días

Fuente: Elaboración propia.

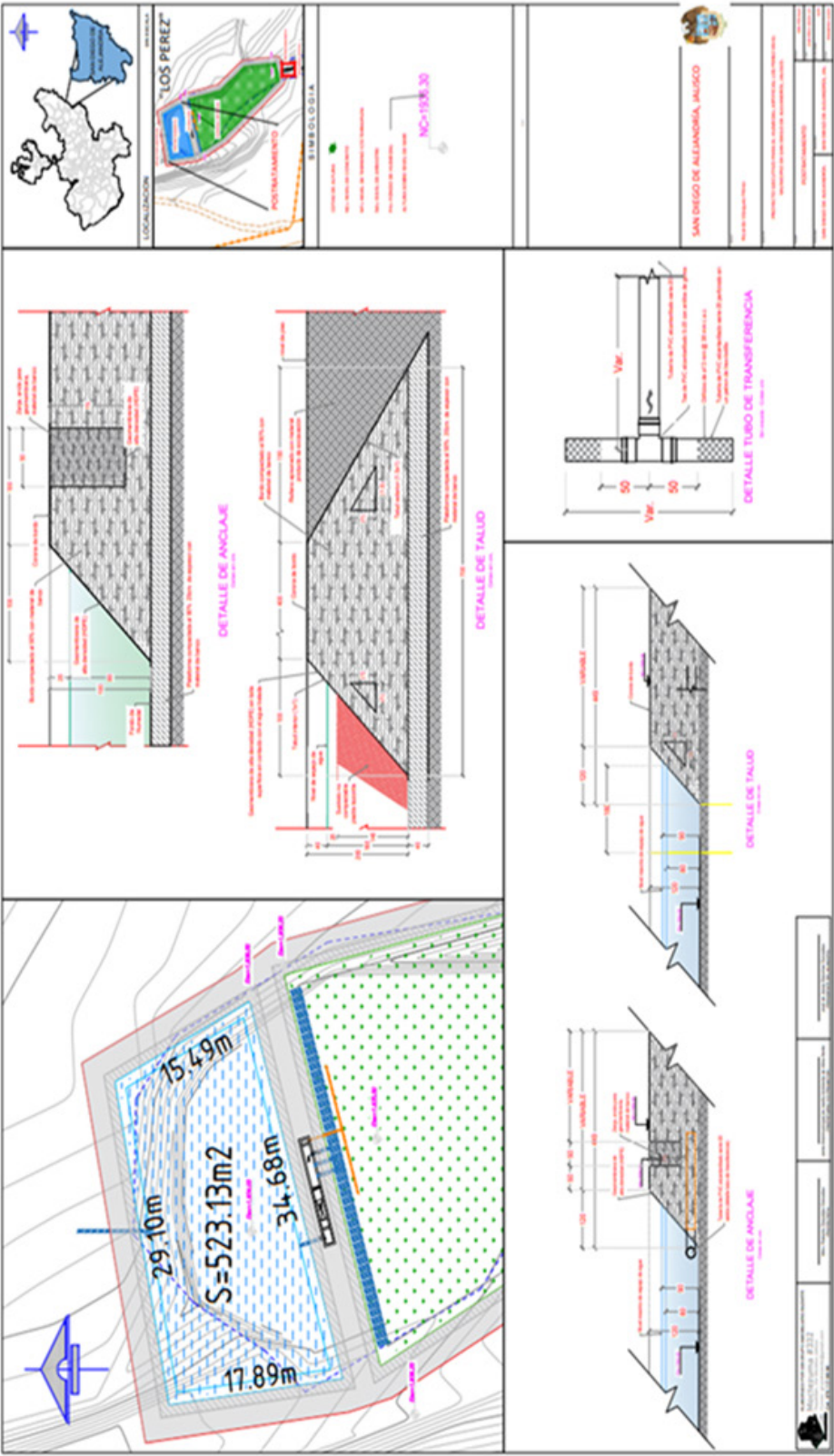


c). **Postramiento** (Figura 8 y 9). Las dimensiones mínimas para el estanque del postratamiento (Figura 9) y sus parámetros de operación pueden observarse en la tabla 4.

Tabla 4. Dimensiones y parámetros operativos mínimos del estanque para el postratamiento.

Dimensión/parámetro	
Superficie (m ²)	523.12
Profundidad nominal (m)	0.6
Capacidad almacenamiento (m ³)	313.9
Tiempo de retención (días)	2.4

Figura 8. Plano constructivo para el postratamiento en SDA.



Fuente: Elaboración propia.

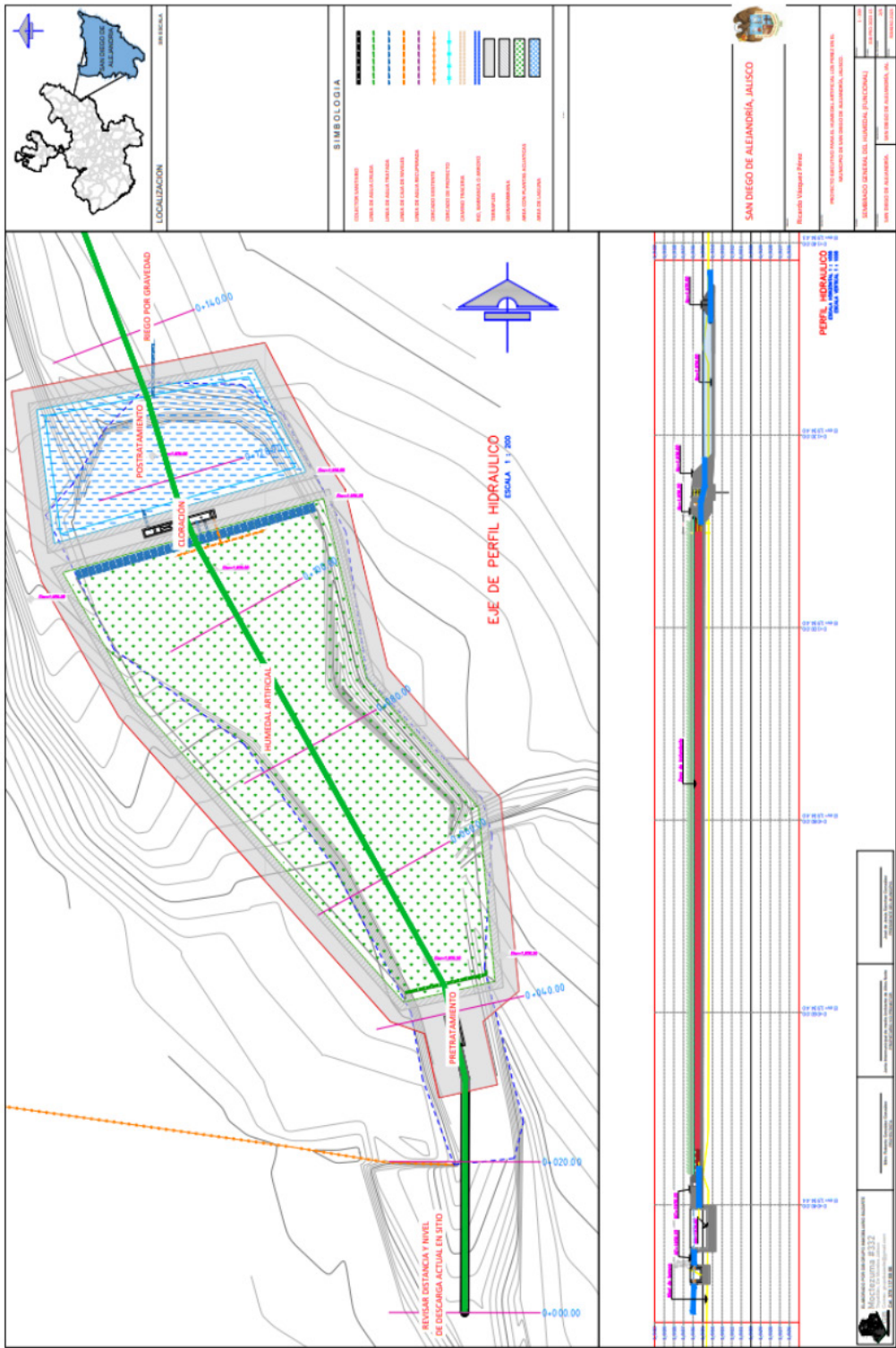
Figura 9. Caja de niveles del agua tratada del HASS en SDA.



Fuente: Elaboración propia.

La circulación del agua residual, desde su ingreso al pretratamiento, el tránsito por el HASS y su salida por el pos-tratamiento, se puede apreciar en el diagrama general de flujo (Figura 10).

Figura 10. Diagrama de flujo para el sistema de tratamiento mediante HASS en SDA.



Fuente: Elaboración propia.

IV) Operación y optimización del sistema de tratamiento. En abril de 2024, se realizaron muestreos (APHA, 2017) y análisis de laboratorio para evaluar la operación y grado de optimización mediante la determinación de los porcentajes de disminución (%R) de algunos parámetros en el sistema de tratamiento (Figura 11 y 12), obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 5).

Tabla 5. Determinación paramétrica y operática del tratamiento en SDA.

Parámetro (unidad)	CE (µS/cm)			Nt (mg/L)			DQO (mg/L)			Pt (mg/L)		
	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
Promedio	1148	110		47	13			22			1.1	73.17
Referencia					15						5	

Nota: E=Entrada, S= salida, %R= Porcentaje de reducción.

Figura 11. Sistema de tratamiento completo mediante HASS en SDA.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Identificación del sistema para el tratamiento mediante HASS en SDA.



Fuente: Elaboración propia.

V) En la actualidad, el agua tratada se reutiliza para el riego controlado de cultivos forrajeros en la región, con resultados aceptables.

5. Conclusiones

El sistema comenzó a operar a finales de agosto (2023). Se requirió de cuatro a ocho meses para que las plantas se desarrollaran adecuadamente, formando con sus raíces y el sustrato, el hábitat para los microorganismos principa-

les responsables del tratamiento. Actualmente, se encuentra en la etapa de estabilización y normalización operativa (mantenimiento y optimización). El agua tratada presenta importantes reducciones de contaminantes, que van desde el 72 % al 95 %, y se reutiliza para el riego de cultivos. Sin duda, este sistema de tratamiento alternativo es un modelo reproducible, ya que es viable, tanto económica como ambientalmente, para poblaciones con disponibilidad de terrenos y condiciones climatológicas adecuadas.

6. Agradecimientos

Al Centro de Estudios para la Agricultura, la Alimentación y el Cambio Climático (CEAACC-CUAltos), al Cuerpo Académico UDG-561 “Gestión Integral del Agua”, al Laboratorio para Análisis de Aguas (CUAltos), a la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente de Altos-Norte (JIAN), al municipio de San Diego de Alejandría (Jalisco) y, en especial, a Diageo México, por el financiamiento de este proyecto.

7. Referencias

- Andreo, Pedro. (2014). *Evaluación y Diseño de un Humedal Construido para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas*. [tesis doctoral, Facultad de Química. Universidad de Murcia]. España. Digitum Biblioteca Universitaria. <http://hdl.handle.net/10201/42326>
- APHA. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, EPA. Standard Methods. <https://www.standardmethods.org/>
- Brink, P., et al. (2013). *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales* (resumen ejecutivo). https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teeb_waterwetlands_execsum_2013-sp.pdf
- Castañeda, A., Flores, H., Sahagún, R. (2018). Comparación de tres modelos

- para el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de poblaciones rurales en Los Altos de Jalisco. En J. J. Rojas y A. Torres. (Coords). *Las ciencias en los estudios del agua: viejos desafíos sociales y nuevos retos tecnológicos*. Centro Universitario de Tonalá. Universidad de Guadalajara. http://www.cutonala.udg.mx/sites/default/files/aldo_antonio_castaneda_villanueva_comparacion_de_tres_modelos_para_el_diseno_de_un_humedal_artificial_.pdf
- Castañeda, A. y Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas *típicas en Los Altos de Jalisco, México*. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 3(5). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=499051554003>
- Conagua. (2021). *Estadísticas del Agua en México*. Conagua. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM%202021.pdf>
- Delgadillo, O., *et al.* (2010). Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales. *Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)*. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Fernández, J. (Ed.) (2014). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Proyecto LIFE. https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf
- Ferrer, J. y Seco, A. (2008). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Editorial Alfaomega.
- Gil, H., *et al.* (2013). Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3). <https://www.redalyc.org/pdf/928/92829234010.pdf>
- MGujar, A. (2022). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. My Waste Solution. <https://blog.mywastesolution.com/constructed-wetlands-for-wastewater-treatment/>
- HACH. (2018). *Catálogo de productos y accesorios*. Hach Latam. <https://latam.hach.com/quick.searchdownload.search.jsa?keywords=DR2800>

- Hoffmann, H., et al. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania (GIZ), Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN, p. 39.
- IIEG. (2023). San Diego de Alejandria. Diagnóstico del municipio. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/08/San-Diego-de-Alejandr%C3%ADa-1.pdf>.
- INEGI. (2023). Censo de Población y Vivienda 2010 y 2020. Fuente IIEG en base a INEGI. (2020). Cuéntame... Información por entidad. Inegi. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=14
- Kadlec, R. y Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands* (segunda edición). CRC Press.
- LaHora, C. (2003). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los gallardos (Almería). En M. Paracuellos. (Coord.). *Ecología, manejo y conservación de los humedales*, p. 99-112. I.d.E. Almerienses, Editor.
- Navarro, A. y Vázquez, A. (2012). Humedales contruidos: breve introducción. Navarro. Dr. Armando Enrique Navarro Frómeta. <https://navarrof.orgfree.com/Investigacion/humedales.htm>
- USEPA. (2000). *Humedales de flujo libre superficial. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales*. United States Environmental Protection Agency.
- Vargas, W. (2010). Siglo XXI: El agua, ¿es un recurso natural renovable? *Revista Virtual REDESMA*, 4(2), p. 9-16.

Área

Agronomía

Densidad de población y producción de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*), variedad Copena-1 en condiciones de temporal

Establishment and production of forage cactus (*Opuntia ficus-indica*), Copena-1 variety under conditions rainfed

J. Encarnación García-Portuguez¹ / Saturnino Duarte Ramos¹

¹DGETAyCM / Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 105, La Estrella, Pénjamo, Guanajuato, México

Correspondencia: carneshon@hotmail.com

Resumen: El nopal forrajero se puede establecer y desarrollar en zonas áridas, semiáridas y con riegos ocasionales, pues tiene la capacidad fisiológica de tolerar el estrés hídrico, la baja fertilidad de los suelos y las altas y bajas temperaturas. Con el propósito de evaluar el establecimiento y producción de forraje verde de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) variedad Copena-1 en condiciones de temporal, se realizó esta investigación científica utilizando un diseño experimental con bloques al azar (BA) con cuatro tratamientos, caracterizados como T-0. Densidad de población de 25 000 cladodios/ha; T-1. Densidad de población de 20 000 cladodios/ha; T-2. Densidad de población de 16 600 cladodios/ha y T-3. Densidad de población de 13 300 cladodios/ha. Cada uno de los tratamientos se sometió a cuatro repeticiones, en tanto que la unidad experimental es cada una de las dieciséis parcelas experimentales con cinco surcos de 0.8 m de ancho y 5 m de largo. El esta-

blecimiento del 98 % del cultivo fue bueno en todos los tratamientos experimentales. El establecimiento, la producción y la factibilidad técnica del cultivo de nopal forrajero variedad Copena-1 son posibles, pues al utilizar la densidad de población (25 000 plantas) se obtiene un buen establecimiento del cultivo y mayor producción de forraje verde (pencas) por planta y por unidad de superficie.

Palabras clave: establecimiento-nopal; forrajero-temporal.

Abstract: The forage cactus can be established and developed in arid, semi-arid areas and with occasional irrigation, as it has the physiological capacity to be tolerant to water stress, low soil fertility, and high and low temperatures. In order to evaluate the establishment and production of green forage of forage cactus (*Opuntia ficus-indica*) Copena-1 variety under rainfed conditions, this scientific research was carried out using an experimental design randomized blocks (BA) with four treatments, characterized as: T-0. Population density of 25,000 cladodes/ha; T-1. Population density of 20,000 cladodes/ha; T-2. Population density of 16,600 cladodes/ha, and T-3. Population density of 13,300 cladodes/ha. Each of the treatments was subjected to four replications, with the experimental unit being each of the 16 experimental plots with five furrows of 0.8 m wide and 5 m long. The establishment of 98% of the culture was good in all experimental treatments. The establishment, production and technical feasibility of the cultivation of the forage cactus of the COPENA-1 variety is possible, because by using the population density of 25,000 plants, a good establishment of the crop and greater production of green fodder (stalks) per plant and per unit of area is obtained.

Keywords: establishment-forage; cactus-conditions rainfed.

1. Introducción

Las sequías recientes en el Norte y Centro de la República Mexicana han dado como resultado la muerte de miles de cabezas de ganado, y la necesidad de utilizar cultivos forrajeros adaptados a este tipo de condiciones naturales, como la *Opuntia*, se hace urgente.

Los sistemas de producción practicados actualmente destruyen la vegetación y aceleran la desertificación, lo que representa un serio peligro para la flora y la fauna nativas de México, por lo tanto, es muy importante que se implementen proyectos de rehabilitación que incluyan las especies nativas, tales como opuntias, agaves, acacias, mimosas, entre otras. La planta de opal prospera en casi todas las regiones ecológicas del país se adapta a condiciones sumamente variables de los diferentes hábitats. El nopal es un recurso desaprovechado con alto potencial en la alimentación humana y animal en el norte de México, ya que tiene excelente adaptación al clima semiárido, alta productividad, poco manejo y alto contenido de agua (de 70 % al 90 %). No obstante, su bajo valor proteínico (4 %) puede incrementarse del 4 % al 24 %, con tecnología de enriquecimiento del nopal (Flores, 2020).

El nopal es un forraje interesante porque transforma el agua en materia seca, o energía digerible con mucha más eficiencia que los pastos y las leguminosas, responde bien a la fertilización, tolera una poda intensa y puede suministrarse al ganado como forraje fresco o ensilarse. Los estudios realizados han demostrado que una hectárea de nopales maduros puede producir hasta 100 toneladas de pencas al año en superficies que reciben poca lluvia. El uso de *Opuntia* como fuente de forraje para ganado vacuno, ovino o caprino es una tradición antigua en México, y la cosecha de cladodios varía desde el consumo directo por el animal en el campo hasta varios tipos de cosecha practicados por los rancheros (López *et al.*, 2003).

Sin embargo, y considerando que el nopal ha sido una de las plantas forrajeras más estudiadas por diversas disciplinas, poco se sabe científicamente sobre el uso del nopal como forraje. Actualmente, y a pesar de la

importancia que tiene el nopal como forraje para el ganado, se estima que la producción intensiva permanece estancada desde hace 10 años, considerando que la gran cantidad de nopal silvestre que se tiene posiblemente sea la causa del porqué los productores no tengan la cultura de producción de nopal forrajero. En el Bajío guanajuatense, por sus condiciones climáticas y de suelo, existe una gama muy extensa de cultivos comerciales que pueden establecerse, aunque las limitantes principales para seleccionar los mejores cultivos son la disponibilidad de agua para su establecimiento, lo cual nos obliga a buscar alternativas productivas que permitan mitigar en forma sustentable esta problemática. Bajo estas condiciones, se afirma que el nopal forrajero se puede establecer y desarrollar en zonas áridas, semiáridas y con riegos ocasionales, pues tiene la capacidad fisiológica de tolerar el estrés hídrico, la baja fertilidad de los suelos y las altas y bajas temperaturas (Lozano, 2011).

Al considerar lo anterior, podemos afirmar que es necesario estudiar mejor esta especie en nuestra región, ya que no se dispone de la información correspondiente sobre cuáles serían las condiciones edáficas y climáticas ideales para el cultivo. Además, son pocos los estudios que engloban aspectos relacionados con el análisis de su crecimiento, ecología, fisiología y su potencial respecto con las diversas condiciones ambientales de la zona rural del área de influencia institucional.

La densidad de siembra es una de las prácticas agrícolas más recomendadas para lograr un incremento en la productividad de los cultivos, y en forma general, los resultados obtenidos para establecer el cultivo de nopal forrajero indican que al disminuir la densidad de población, el rendimiento de forraje por planta es mayor, pero al aumentar la densidad se obtiene mayor cantidad de forraje por unidad de superficie (Santos, *et al.*, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar el establecimiento y la factibilidad técnica de la producción de forraje verde del nopal forrajero *Opuntia ficus-indica* variedad Copena-1 en condiciones de temporal.

2. Metodología

Para desarrollar este estudio sobre nopal forrajero variedad Copena-1, se eligió el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 105, que está ubicado en la comunidad de La Estrella, en Pénjamo, Guanajuato, México, y localizado en el kilómetro 12 de la Carretera Federal 090, La Piedad-Pénjamo, a una altura de 1760 msnm. En este lugar, la temperatura media anual es de 20.4 °C, con una precipitación media anual de 719.7 mm. El tipo de clima es semicálido, el más cálido de los templados con temperatura media anual de 18 °C y se define como (A)c (Wo) (W)a (l)g (García, 2004).

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar (BA) (Martínez-Garza, 1988) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, caracterizados como T-0. Densidad de población de 25 000 cladodios/ha; T-1: 20 000 cladodios/ha; T-2: 16 600 cladodios/ha y T-3: 13 300 cladodios/ha. Se consideró como unidad experimental cada una de las dieciséis parcelas experimentales de 5 m de ancho y 6 m de largo, con cinco surcos de 0.8 m de ancho y 6 m de largo. Las parcelas experimentales se establecieron en camas elevadas de 30 cm de altura, 20 m de ancho y 6 m de largo, construyendo callejones entre camas de 3 m de ancho para evitar inundaciones del cultivo en temporada de lluvias, pues se tiene un tipo de suelo vertisol con mucha arcilla y dificultades de drenaje, con el propósito de facilitar el tránsito de un remolque y sacar el forraje. El trasplante se realizó de forma manual con una pala, depositando un cladodio madre a una profundidad de 25 cm, que es la distancia entre cladodios indicada para cada uno de los diferentes tratamientos experimentales.

Asimismo, se aplicaron cinco riegos de auxilio para favorecer el enraizamiento de los cladodios, pues se tuvo un periodo prolongado de ausencia de lluvias y se fertilizó con estiércol de vacuno a razón de 1 kg/cladodio. El desarrollo morfológico de los nopales hijos se identificó como retoños (5 cm de longitud); nopalitos (nopales con longitud de 5 m y hasta 20 cm); raquetas tiernas (nopales con longitud de 20-25 cm) y pencas (longitud mayor de 25

cm, de color verde olivo y consistencia fibrosa). Con una bitácora de campo con formatos específicos, se anotaron las actividades diarias relacionadas con el ciclo del cultivo y de la cosecha. Los datos de cada una de las variables de respuesta fueron registrados en hojas de cálculo (Excel) y, posteriormente, fueron organizadas y sometidas al análisis de varianza y comparación de medias de la prueba de Tukey (SAS, 2002).

3. Resultados

El establecimiento de cultivo de nopal forrajero fue adecuado, considerando densidad de población promedio de 18 725 cladodios/ha en todos los tratamientos experimentales, variedad y tipo de cladodios, distancia entre cladodios, método de trasplante, control de malezas, fertilización, ocurrencia de plagas y enfermedades, así como recursos materiales y naturales de los productores y de la región (Figura 1).

Figura 1. Establecimiento y producción del cultivo de nopal forrajero *Opuntia ficus-indica* variedad Copena-1 en condiciones de temporal.



Fuente: Tomada de La Estrella, Pénjamo, Guanajuato.

En cuanto al crecimiento y desarrollo de los cladodios madre trasplantados, los primeros retoños aparecieron a los veinticuatro días después del trasplante en todos los tratamientos experimentales. El número de retoños, nopalitos, raquetas tiernas y pencas fue registrado durante las actividades agronómicas y la realización de la primera poda de formación, en la cual se seleccionaron de dos a tres raquetas tiernas por cladodio madre para formar el segundo nivel. Cuando se realizó la primera poda de formación, se encontró en T0 un mayor número de retoños, nopalitos y raquetas tiernas comparados con T1, T2 y T3 ($P < 0.05$). La cantidad promedio de producción

en raquetas tiernas correspondiente a la primera poda de formación y para la integración del segundo nivel fue aproximadamente de 1900 piezas.

A los seis meses de establecimiento del nopal forrajero, la densidad de población no afectó el desarrollo morfológico del primer nivel de pencas de los cladodios madre, y el número de pencas brotadas de estos últimos para formar el primer nivel fluctuó entre 2-2.5, tampoco se encontró diferencia entre tratamientos al ser similar el tamaño de las pencas.

El registro de datos de campo realizado en el segundo nivel de cladodios madre y a los 180 días (seis meses) durante la primera cosecha indicó menor número de retoños, nopalitos, raquetas tiernas y mayor producción de forraje verde de pencas en los tratamientos experimentales con mayor densidad de población de nopal forrajero (T0) ($P<0.05$). Véase la Tabla 1.

Tabla 1. Nopales hijos en diferentes estados morfológicos, densidad de población y producción de forraje verde de nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) variedad Copena-1 en condiciones de temporal. Primera cosecha a seis meses de establecido el cultivo en La Estrella, Pénjamo, Guanajuato.

Tratamientos	Variables de respuesta ¹					
	Nopales hijos en diferentes estados morfológico (piezas/tratamiento)				Densidad de producción de población verde	
	Retoño	Nopalito	Raqueta	Penca	(Pencas)	
			tierna		(Cladodios//ha)	(Ton/ha)
T0	30a	34b	9c	51a	25 000	5.82a
T1	2b	11c	31b	23b	20 000	2.67b
T2	21b	126a	29b	21b	16 600	2.36b
T3	8b	35b	34a	31b	13 300	3.11b

¹ Valores de medias con distinta letra dentro de columnas son estadísticamente diferentes. ($P<0.05$).

Estos resultados indican mayor producción de forraje verde por planta y por unidad de superficie al aplicar la densidad de siembra de 25 000/ha, lo cual no se halla en los reportes de Santos *et al.*, (2006) y Reveles-Hernández y Flores-Ortiz (2009), en los cuales se afirma que dicha densidad es una de las prácticas agrícolas recomendables para lograr el incremento en la productividad de los cultivos. En general, los resultados obtenidos en el establecimiento del cultivo de nopal forrajero indican que, al aumentar la densidad de población, el rendimiento de forraje verde por unidad de superficie es mayor, pero es menor la producción por planta. No obstante, estos resultados ratifican los trabajos publicados por Farías *et al.* (2000) y Santos, *et al.* (2006), en los cuales se afirma que las densidades de la población en plantaciones de nopal establecidas en terrenos agrícolas con mejores condiciones de suelo y humedad disponible pueden ser más altas, debido a que se incrementa el rendimiento de forraje seco.

En el presente experimento, el rendimiento por planta fue mayor cuando las plantas estuvieron más distanciadas, aunque el mayor número de plantas con menores distancias entre plantas tuvo como efecto mayor producción de forraje por unidad de superficie. Véase Figura 2.

Figura 2. Incremento en la producción de forraje verde de nopal forrajero por unidad de superficie con mayores densidades de población.



Fuente: Tomada de La Estrella, Pénjamo, Guanajuato.

4. Conclusiones

El establecimiento, la producción y la factibilidad técnica del cultivo de nopal forrajero variedad Copena-1 son posible, pues al utilizar una densidad de población de 25 000 plantas, se obtiene buen establecimiento del cultivo y mayor producción de forraje verde (pencas) por planta y por unidad de superficie.

5. Referencias

- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie Libros. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México.
- Flores, H. A., (2020). *Variedades de nopal sin espina, verdura-forraje; Chapingo, Narro y Escobar como materia prima para su enriquecimiento proteico en las zonas áridas del norte del país* [Folleto]. Sagarpa, Cofupro y Universidad Autónoma de Chapingo. <https://drive.google.com/file/d/1agTDIBE4S-32pph7jQIfTwz9i43Qqook/view>
- López, J. J., Fuentes, J. M. y Rodríguez. G, A. (2003). *Producción y uso de Opuntia como forraje en el Centro-Norte de México*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <http://www.fao.org/3/y2808s/y2808s08.htm>
- Lozano, L. (2011). *Cactus pear ecophysiology*. *Horticultura Argentina*, 30(72), 37-52.
- Martínez-Garza, A. (1988). *Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría*. Editorial Trillas.
- Reveles-Hernández, M. y Flores-Ortiz., M. A. (2009). El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino [simposium]. *Memorias. VIII. Simposium-Taller Nacional y 1º. Internacional. Producción y Aprovechamiento del Nopal*, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León. <https://es.scribd.com/doc/228678298/Memorias-Produccion-y-Aprovechamiento-Del-Nopal>

- Santos, M. V. F., et al. (2006). Fertilization and plant population density effects on the productivity of *Opuntia ficus-indica* in northeast Brazil. *Acta Hort*, 2006(728), 189-192.
http://www.actahort.org/books/728/728_26.htm
- Sas. (2002). SAS. *Guide. Statistical Analysis System. Version 9.0 for Windows*. Institute Inc. Cary, N. C. USA.

6. Bibliografia

- Farias, I. M., Lira, A. and Dos Santos, D. C. (2000). Harvest managing and plant spacing of spineless fodder cactus, under grain sorghum intercropping at the semi-arid region of Pernambuco State, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brazil*, feb. 35(2), 341-347.

Sustancias orgánicas y sus efectos sobre supervivencia, oviposturas y alimentación del picudo del chile *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae)

Organic substances and their effects on the survival, oviposition and feeding damages of the pepper weevil *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae)

Paulina Lerma Mendoza¹ / Andrés Cruz Hernández¹  / Sinue Isabel Morales Alonso¹ 

¹Universidad La Salle Bajío, Dirección de Investigación y Doctorado; Escuela de Agronomía

Correspondencia: smorales@lasallebajio.edu.mx

Resumen: El picudo del chile, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), es una plaga difícil de controlar por su desarrollo dentro de los frutos, provocando pérdidas de hasta 100 % en la producción de chile. Su control se basa en insecticidas químicos. Sin embargo, estos han generado resistencia en plagas, daños a la salud humana y al ambiente, por lo que es conveniente diversificar las opciones de control. En un estudio, se determinaron los efectos de sustancias orgánicas (marihuana, neem, cempasúchil y tierra de diatomeas) sobre la supervivencia, oviposturas y alimentación en adultos de picudo del chile sobre los frutos de chile morrón tratados bajo condiciones de laboratorio. Los tratamientos se evaluaron a dos concentraciones (mínima y máxima), estableciéndose un control negativo (sólo agua) y dos positivos (Bulldock® y MurallaMax®). Los frutos se sumergieron en su tratamiento y, tras su secado, se colocaron en recipientes con dos adultos de picudo del chile (≤ 12 días de edad), sin sexar, durante tres días. Los trata-

mientos orgánicos redujeron las oviposturas. De todos ellos, destacó el de la tierra de diatomeas, seguido de los extractos con marihuana y cempasúchil. No se observaron reducciones ni diferencias en supervivencia y daños por alimentación entre los tratamientos orgánicos y químicos.

Palabras clave: plaga; control; pérdidas; producción; agricultura orgánica; invernadero; horticultura; insectistático; insecticida.

Abstract: The pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), is a pest difficult to control due to its development inside the fruits, causing losses of up to 100% in chili production. Its control is based on chemical insecticides; however, these have generated resistance in pests, damage to human health and the environment, so it is advisable to diversify control options. This study determined the effects of organic substances (marijuana, neem, marigold and diatomaceous earth) on the survival, oviposition and feeding in adult pepper weevils on bell pepper fruits treated under laboratory conditions. The treatments were evaluated at two concentrations (minimum and maximum), with a negative control (water only) and two positive controls (Bulldock® and MurallaMax®). The fruits were immersed in their treatment and, after its drying, were placed in containers with two adult pepper weevils (< 12 days old), not sexed, for 3 days. The organic treatments resulted in reductions in oviposition, with diatomaceous earth being the most effective, followed by the extracts with marijuana and marigold. No reductions or differences in survival and feeding damage were observed between the organic and chemical treatments.

Keywords: pest, control, losses, production, organic agriculture, greenhouse, horticulture, insectistatic, insecticide.

1. Introducción

1.1. Objetivo

Determinar los efectos de sustancias orgánicas (tierra de diatomeas y extractos de neem, cempasúchil y marihuana) sobre la supervivencia, ovipositorias y alimentación en el adulto picudo del chile *A. eugenii* en frutos de chile bajo condiciones de laboratorio.

2. Antecedentes y/o fundamento teórico

2.1. Importancia de la Producción de Chile en México

2.1.2. Cultivo de chile

Todas las plantas de chile pertenecen al género *Capsicum* y son originarias del continente americano. Una planta madura puede alcanzar medidas de un metro a más de dos metros con entutorado (Reche, 2010). Estas plantas son importantes especialmente por sus frutos, los cuales tienen glándulas que segregan un alcaloide picante conocido como capsaicina. *C. annuum* es la especie de chile más consumida a nivel mundial. Existe en una gran diversidad de presentaciones, sus variedades se diferencian por las características de sus frutos (Csilléry, 2006). La variedad chile morrón (Bell Pepper) de *C. annuum* produce frutos dulces, de pulpa gruesa generalmente y poco productores de capsaicina, lo que los hace poco picantes. Los frutos pueden variar en color: verde, amarillo, morado, rojo, naranja, blanco, entre otros (Csilléry, 2006). Ver Figura 1.

Figura 1. Cultivo de *C. annuum*, variedad chile morrón (Bell pepper) en invernadero.



Nota: Obtenido de Moleaer (2022).

2.2.3. Mercado internacional de chiles y pimientos

Entre 2016 y 2030, se estima aproximadamente un crecimiento del 28.57 % en la demanda mundial de chiles y pimientos, es decir, habría un crecimiento de 6.3 millones de toneladas a 8.1 millones. En 2016, entre los principales importadores mundiales se encontraban Estados Unidos (1.2 millones de toneladas), Alemania, Reino Unido, Francia y Canadá. Mientras que los principales exportadores eran México (0.98 millones de toneladas), España, Países Bajos, India y China (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa], 2017).

2.2.4. Mercado nacional de chiles y pimientos

México es uno de los líderes exportadores de chiles y pimientos. Ha conseguido el primer lugar a nivel internacional (Sagarpa, 2017). En la actualidad, se mantiene dentro de los principales comercializadores mundiales de chiles y lidera en la exportación de pimientos bell frescos (Workman, s.f.). Del 2003 al 2016, México cubrió el 100 % de su demanda nacional de chiles y pimientos, contribuyendo con el 3.5 % del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola nacional. El 29 % de la producción se destinó a la exportación, que generó un valor de 880 millones de dólares en 2016. En el periodo 2016-2030, se estimó un crecimiento acumulado entre 22.4 % y 61.4 % en la producción de chiles y pimientos, con más de 4 millones de toneladas por año y exportaciones en 139.66 % (Sagarpa, 2017). Esto abriría oportunidades para la exportación de chiles y pimientos, y generaría un mayor valor económico en comparación con aquellos comercializados en el mercado nacional (Tabla 1).

Tabla 1. Comportamiento del mercado mexicano para chiles y pimientos: periodo 2003-2016 y perspectivas 2016-2030.

	2003-2016	2016-2030
Importancia	Gastronómica y económica	
Productos	Chile de árbol, habanero, ancho, Anaheim y bell	
Contribución al PIB	3.5 % PIB agrícola	-
Producción anual	3.2 M toneladas	> 4 M toneladas
Producción: crecimiento anual	3.8 % - 4.82 %	3.24 %
Producción: crecimiento acumulado	56.46 %	22.44 % a 61.40 %
Exportaciones	29 % de producción	-
Exportaciones: crecimiento anual	6.46 %	6 %
Exportaciones: crecimiento acumulado	111.67 %	139.66 %

Nota: Elaboración propia con datos de (Sagarpa, 2017). Las cifras oficiales pueden no cuadrar debido a redondeo y/o reexpresión por parte de Sagarpa.

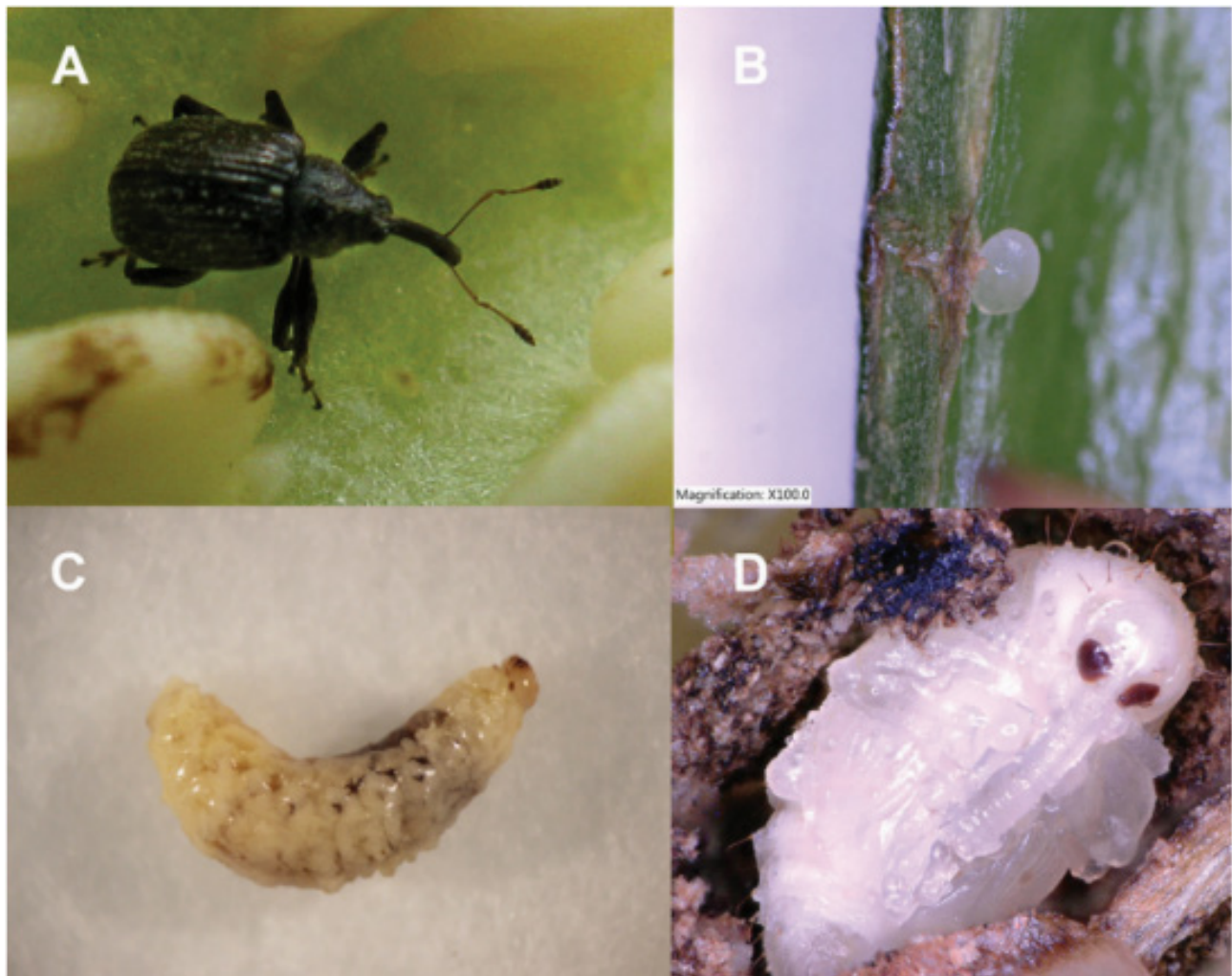
2.2.5. Picudo del chile *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae)

El *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae), también conocido como picudo del chile o barrenillo del chile, es originario de Centroamérica, el Caribe y sur de Estados Unidos. Es un insecto perteneciente al género *Anthonomus*; con más de 200 especies, de las cuales 51 (entre ellas la *Anthonomus eugenii*) viven asociadas con las solanáceas como el chile, el tomate, la papa, la berenjena, el tabaco, etc. El picudo del chile se distingue de otros por sus élitros cubiertos densamente por escamas; además el fémur de la pata trasera de los machos está fuertemente curvado hacia afuera. Las hembras del picudo del chile se distinguen de los machos por presentar los espolones de las patas traseras más cortos, delgados y curvos (Torres-Ruíz y Rodríguez-Leyva, 2012).

2.2.6. Ciclo de vida

El picudo del chile se desarrolla en plantas hospederas de chile, donde completan su ciclo de vida, el cual se conforma de estas fases: huevo, larva, pupa y adulto (Figura 2). Los adultos se aparean días después de emerger y las hembras insertan sus huevos en los frutos de chile. Una hembra puede depositar de cinco a siete huevos por día, con una fecundidad de 341 huevos en toda su vida. Este ciclo se completa en aproximadamente tres semanas, dependiendo de la temperatura (Torres-Ruíz y Rodríguez-Leyva, 2012; Capinera, 2002). Ver Tabla 2.

Figura 2. Etapas de vida del picudo del chile *A. eugenii*.



Nota: a) adulto, b) huevo, c) larva y d) pupa. Obtenido de Bayer Group (2019).

Tabla 2. Ciclo de vida del picudo del chile *A. eugenii*.

	Tiempo de desarrollo (días)	Apariencia	Ubicación
Huevo	3-5	0.53mm x 0.39mm, forma oblonga-oval, blanco amarillento, sellado con fluido.	Insertados en superficie de frutos o botón floral.
Larva		Blanco a gris, cabeza amarilla a café.	Pared de fruto.
1er estadio	1.7	0.8-1.5 mm.	Pared de fruto.
2do estadio	2.2	1.3-2.6 mm.	Pared de fruto.
3er estadio	8.4	2.5-5 mm largo, cilíndrica, curvada, apoda.	Placenta y semillas generalmente.
Pupa	2-4	Forma similar a adulto, blancuecinas, cerdas en protórax y abdomen.	Placenta y pared de fruto.
Adulto	Emergencia: 1-4 Longevidad: hasta 90	3 mm largo * 1.8 mm ancho, élitros ovales y convexos, pico con largo de la mitad de su cuerpo con mandíbulas al extremo.	Parte apical de las plantas.

Nota: Elaboración propia con base a la información de (Torres-Ruiz & Rodríguez-Leyva, 2012; Capinera, 2002).

2.2.7. Daños por *A. eugenii* en el cultivo de chile

La presencia del picudo del chile puede provocar pérdidas de hasta de 100 % en la producción (Fernandez *et al.*, 2020). Su presencia provoca la caída de frutos y botones florales, punturas oscuras en los frutos por la oviposición, deformación de frutos, interior oscuro y presencia de moho por la alimentación de las larvas, pedúnculo amarillento, coloración prematura, la penetración del hongo *Alternaria alternata* (Capinera, 2002) y agujeros por la emergencia de los adultos (Van-Der-Gaag y Loomans, 2013) (Figura 3).

Figura 3. Signos de presencia de picudo del chile *A. eugenii* en chiles.



Nota: a) daños por alimentación en flor; b) marcas por oviposaduras en fruto joven; c) decoloración de fruto; d) frutos abortados con cáliz seco; e) hoyo de emergencia de adulto; f) daño dentro de fruto joven debido a alimentación. Adaptado de Van-Der-Gaag y Loomans, 2013.

2.2.8. Manejo de picudo del chile

Los picudos del chile son difíciles de manejar una vez establecida una infestación, por lo que se recomienda establecer controles preventivos de la plaga; el 5 % de daños por picudo del chile *A. eugenii* es el umbral de acción (Fernandez *et al.*, 2020). Los insecticidas químicos son el método que predomina para su control, aunque sólo el adulto puede controlarse por aplicaciones en espray, ya que los estadios previos de su ciclo de vida se encuentran protegidos al interior del fruto y los controles sistémicos no son efectivos (Riley y Sparks, 1995).

Control químico. Para el control del picudo del chile *A. eugenii* se ha recomendado el uso de permetrina, esfenvalerato y criolita, inhibidores de la acetilcolinesterasa como naled, carbaril, oxamilo, metomilo entre los carbamatos y clorpirifós y malatión entre los organofosforados. Además de moduladores del receptor nicotínico de acetilcolina como tiametoxam, moduladores del receptor de rianodina como rianodino ciantraniliprol, moduladores del canal de sodio como piretroide ciflutrina, inhibidores de la síntesis de quitina como novalurón (Riley y Sparks, 1995; Fernández *et al.*, 2020).

Control biológico. Parasitoides del orden Hymenoptera como *Jaliscoa hunteri* y *Triaspis eugenii* y otros de las familias Braconidae, Eulophidae y Eurytomidae han mostrado un control en larvas de *A. eugenii*, dando como resultado una reducción de la plaga de hasta 50 %. De igual forma, hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* o la bacteria *Bacillus thuringiensis* reducen parcialmente el número de *A. eugenii*. tras el contacto cuticular, aunque no en una producción establecida de chile (Fernandez *et al.*, 2020). Además, existen enemigos naturales como las hormigas *Solenopsis geminata* y *Tetramorium guineense* y el ave *Strunella magna* (Riley y Sparks, 1995).

Control orgánico. Aplicaciones de aceite mineral y caolín se han mostrado efectivas para el control de emergencias de los adultos de *A. eugenii* en más del 50 % (Labbé *et al.*, 2020). Se ha observado un control de daños por *A. eugenii* en laboratorio con productos a base de caolín y tierra de diatomeas de más del 60 %, con un efecto menos eficaz que la rotación convencional de insecticidas químicos en campo (Addesso *et al.*, 2014).

Control botánico. Existe una amplia lista de extractos botánicos utilizados para el control de plagas, alrededor de 2500 especies de 235

familias (Stevenson *et al.*, 2017; Roy *et al.*, 2016). Entre estas especies se encuentran *Cannabis sativa* (marihuana) usada para el control de insectos como escarabajos y otros (Partland y Sheikh, 2018); extractos botánicos de cempasúchil se mostraron efectivos en el control de escarabajos y otras plagas (Bakshi y Ghosh, 2022); extracto de hoja de *Ginkgo biloba* contra áfidos y *Helicoverpa assulta* en cultivos de pimienta (Chun-Woo, 2017). Para el control de picudo del chile *A. eugenii* se evaluó un producto a base de terpenos en laboratorio, que redujo 55 % los daños por picudo del chile, aunque con una menor efectividad que la rotación convencional en campo y un extracto de neem, que generó un bajo control de picudo del chile *A. eugenii* (Addesso *et al.*, 2014).

3. Metodología (método, técnica e instrumentos)

3.1. Sitio de recolecta de frutos infestados con *A. eugenii* y su proceso en laboratorio

Los frutos de chile morrón *C. annuum* y los individuos de picudo del chile *A. eugenii* fueron obtenidos del invernadero ubicado en el Centro Agropecuario de Experimentación de La Salle Bajío (CADELS Silao), ubicado en el municipio de Silao, Guanajuato (20°51'29.2" N; 101°24'43.2" O). Los materiales fueron trasladados a la Universidad La Salle Bajío, en León. La cría de los adultos se realizó en frutos con presencia de daños por ovipositas en recipientes perforados y se esperó a la emergencia de los adultos de ≤ 12 días de edad para el bioensayo en frutos frescos, sanos y desinfectados de chile morrón (*bell pepper*).

3.2. Preparación de los extractos botánicos

Los extractos fueron obtenidos del macerado de las partes vegetales secas. Estas se colocaron en etanol (70 %) o agua y se dejaron reposar durante 24

horas. Algunos tratamientos se filtraron y fueron aplicados en los frutos a la concentración especificada; otros tratamientos en alcohol se colocaron previamente en un rotavapor para la obtención de los extractos purificados.

3.3. Evaluación del efecto insecticida e insectistático sobre adultos de *A. eugenii*

Los tratamientos se prepararon en recipientes desinfectados (1 L), con agua destilada como solvente. Se utilizó 0.1 % de coadyuvante (Inex-A Cosmocel®) **en cada concentración de cada extracto botánico o insecticida (Tabla 3)**. Los recipientes se llenaron hasta permitir la inmersión total de los frutos (previamente desinfectados con hipoclorito al 1 %), durante diez segundos y se esperó al secado del tratamiento a temperatura ambiente. Posteriormente, los frutos fueron colocados en botes de plástico (1 L), perforados y sellados con una red plástica, donde se colocaron dos adultos de picudo del chile (≤ 12 días de edad), sin sexar, durante tres días. Se realizaron cuatro repeticiones para cada concentración de cada extracto o insecticida. Se registró la supervivencia de los adultos por fruto, y con ayuda de un microscopio estereoscópico, se registraron las oviposuras y **daños por alimentación por el picudo del chile *A. eugenii* sobre los frutos de chile morrón.**

Tabla 3. Nombre común y/o científico, ingrediente activo, variedad de planta, parte de la planta usada, suspensión, tipo de extracción y concentraciones usadas en frutos de chile morrón.

Nombre común	Nombre científico / Ingrediente activo	Variedad	Parte de la planta	Suspensión	Extracción	Concentración Mínima (CMín)	Concentración Máxima (CMáx)
Testigo (T)*	-	-	-	-	-	-	-
Bulldock® (Bulld)*	Betacyflutrín 11.8 %	-	-	-	-	0.5 mL/L	0.625 mL/L,
Muralla Max® (Muralla)*	Imidacloprid 19.6 % + Betacyflutrín 8.4 %	-	-	-	-	1 mL/L	1.5 mL/L
Marihuana (F CAN.P.E.)*	<i>Cannabis sativa</i>	Paradise	Flor	Etanol	Macerado	10 %	20 %
Marihuana (CAN.O.A.)*	<i>Cannabis sativa</i>	Ocampo	Hoja	Agua	Macerado	10 %	20 %
Marihuana (CAN.O.E.)*	<i>Cannabis sativa</i>	Ocampo	Hoja	Etanol	Rotavapor	10 %	20 %
Marihuana (CAN.P.E.)*	<i>Cannabis sativa</i>	Paradise	Hoja	Etanol	Rotavapor	10 %	20 %
Cempasúchil (Cempa)*	<i>Tagetes erecta</i>	-	Flor	Etanol	Rotavapor	10 %	20 %
Neem	<i>Azadirachta indica</i>	-	Hoja	Etanol	Rotavapor	10 %	20 %
Mezcla	<i>C. sativa</i> + <i>T. erecta</i> + <i>A. indica</i>	-	Varias	Etanol	Macerado	10 %	20 %
Tierra de diatomeas (T. Diatom)	no aplica	-	-	-	-	5 g/L	12.5 g/L

Nota: * en abreviaturas que refieren a tratamientos.

3.4. Análisis de datos

El porcentaje de supervivencia, número de ovipositorias y daños por alimentación en cada fruto causado por picudo del chile *A. eugenii* fueron sometidos a un análisis con el modelo lineal generalizado (Proc GLM). La separación de medias se realizó con la prueba de media de mínimos cuadrados (LSMEANS; $P \leq 0.05$) (SAS/STAT versión 9.3; SAS Institute, Cary, NC).

4. Resultados

4.1. Supervivencia

La supervivencia de los adultos de picudo del chile *A. eugenii* no se vio afectada por ninguna de las concentraciones de cada extracto botánico o insecticida ($GL = 20$; $F = 1.39$; $P = 0.1614$), registrando entre 75 a 100 % de la supervivencia (Tabla 4).

Tabla 4. Supervivencia de adultos de *A. eugenii*, expuestos a frutos tratados por inmersión a dos concentraciones de extractos botánicos o insecticidas.

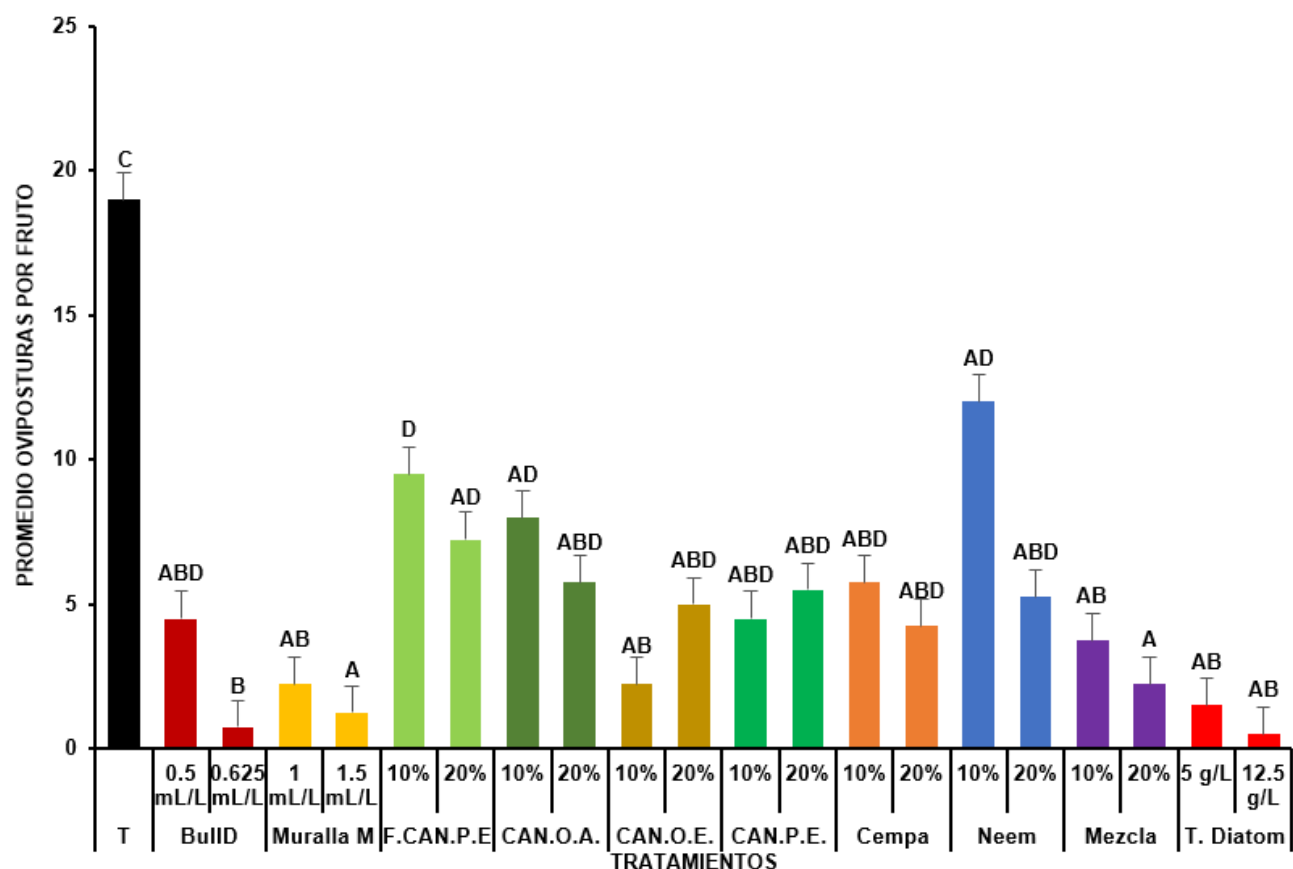
Tratamiento	<u>CMín</u>	Supervivencia (%)	<u>CMáx</u>	Supervivencia (%)
Testigo	N/A	100 a	N/A	N/A
<u>Bulldock</u>	0.5 mL/L	100 a	0.625 mL/L	75 a
Muralla	1 mL/L	100 a	1.5 mL/L	100 a
<u>F.CAN.P.E</u>	10 %	87.5 a	20 %	100 a
CAN.O.A.	10 %	75 a	20 %	100 a
CAN.O.E.	10 %	100 a	20 %	100 a
CAN.P.E.	10 %	100 a	20 %	87.5 a
Cempasúchil	10 %	75 a	20 %	75 a
<u>Neem</u>	10 %	100 a	20 %	100 a
Mezcla	10 %	100 a	20 %	100 a
T. Diatomeas	5 g/L	100 a	12.5 mL/L	100 a

Nota: Medias dentro de columnas con la misma letra, no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.2. Oviposturas en frutos de chile por *A. eugenii*

Las oviposturas se presentaron como punturas necrosadas distribuidas en la superficie del fruto. Todos los tratamientos orgánicos ($\bar{X} = 0.5 - 12$) generaron reducciones significativas (GL = 20; F = 4.661; P = 0.0001) de las oviposturas en comparación con el testigo negativo ($\bar{X} = 19$). La disminución de las oviposturas es similar entre los tratamientos químicos y orgánicos. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos, aunque visualmente se puede observar una menor presencia de oviposturas con el tratamiento de tierra de diatomeas en la máxima concentración ($\bar{X} = 0.5$) (Figura 4) y una mayor presencia en el tratamiento con neem al 10 % ($\bar{X} = 12$).

Figura 4. Promedio de oviposturas por *A. eugenii* en frutos de chile tratados por inmersión a dos concentraciones de extractos botánicos o insecticidas.

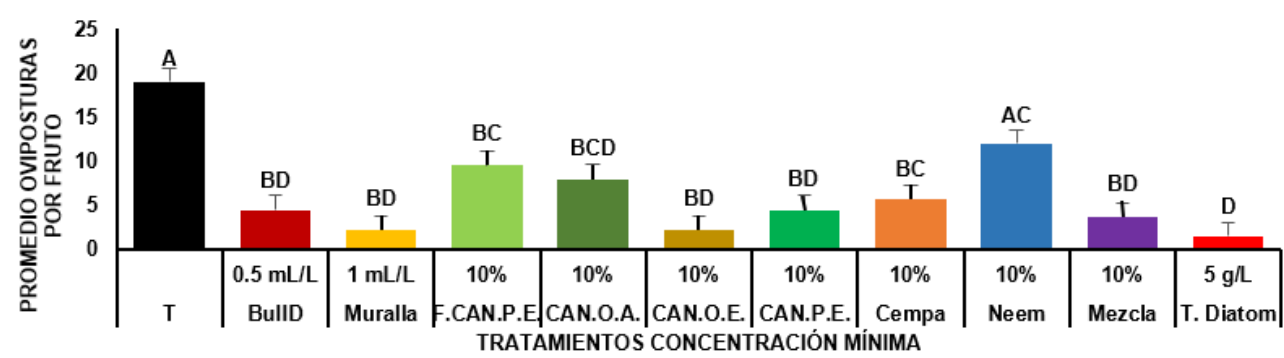


Nota: Barras etiquetadas con la misma letra, no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.2.1. Oviposturas causadas por *A. eugenii* en frutos tratados con concentraciones mínimas

Los tratamientos orgánicos, a excepción del tratamiento con neem ($\bar{X} = 12$), generaron reducciones significativas (GL = 10; $F = 4.04$; $P = 0.0011$) de las oviposturas respecto al testigo negativo, destacando la tierra de diatomeas ($\bar{X} = 1.5$), seguida del tratamiento C. Ocampo en etanol ($\bar{X} = 2.25$), la mezcla ($\bar{X} = 3.75$) y C. Paradise en etanol ($\bar{X} = 4.5$). Estos tratamientos mostraron efectos similares a los presentados con los tratamientos químicos ($\bar{X} = 2.25$ y 4.5) (Figura 5).

Figura 5. Promedio de oviposturas por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados por inmersión a la concentración mínima de extractos botánicos o insecticidas.

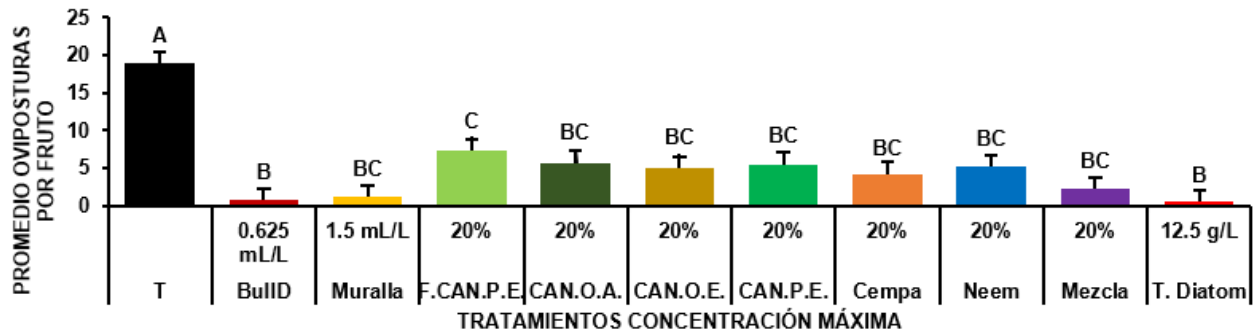


Nota: Barras etiquetadas con la misma letra, no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.2.2. Oviposturas causadas por *A. eugenii* a frutos tratados con concentraciones máximas

Todos los tratamientos orgánicos en las concentraciones máximas ($\bar{X} = 0.5 - 7.25$) generaron reducciones significativas ($GL = 10$; $F = 4.98$; $P = 0.0002$) de las oviposturas en comparación con el testigo negativo. La disminución de las oviposturas es similar entre los tratamientos químicos ($\bar{X} = 0.75$ y 1.25) y orgánicos. Visualmente se puede observar una menor presencia de oviposturas con el tratamiento de tierra de diatomeas. En comparación con el tratamiento de tierra de diatomeas, la flor de cannabis fue significativamente menos efectiva ($\bar{X} = 7.25$) (Figura 6).

Figura 6. Promedio de oviposturas por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados por inmersión a la concentración máxima de extractos botánicos o insecticidas.

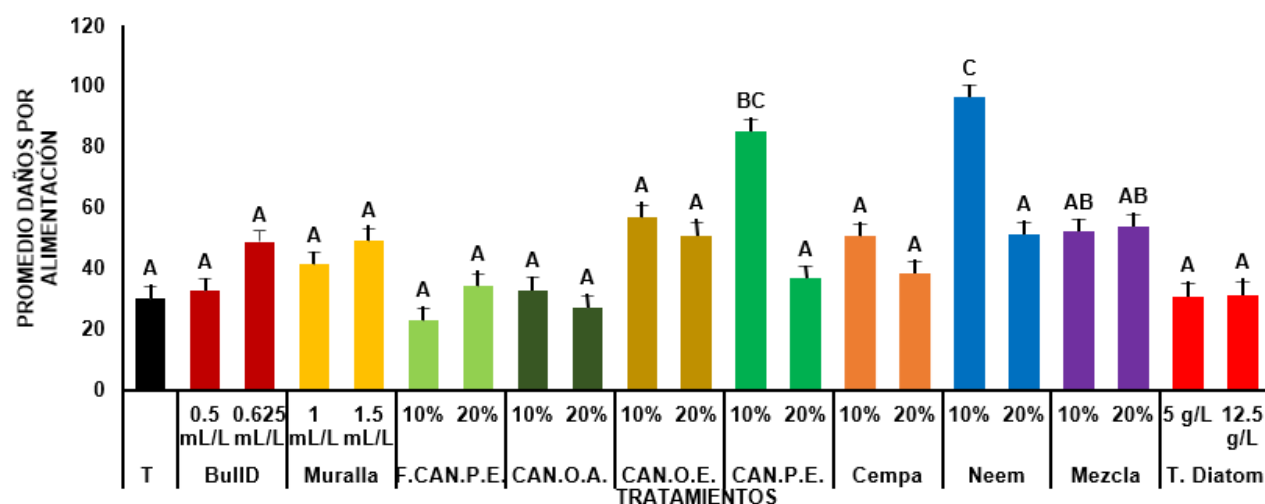


Nota: Las barras etiquetadas con la misma letra no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.3. Daños por alimentación en frutos de chile por *A. eugenii*

Los daños por alimentación se identificaron por pequeñas perforaciones en el fruto, sobre todo en cáliz y pedúnculo. Ningún tratamiento generó la disminución de los daños por alimentación respecto al testigo negativo. El tratamiento con neem al 10 % ($\bar{X} = 96.5$) y el de Cannabis Paradise en etanol al 10 % ($\bar{X} = 85$) presentó incrementos significativos en los daños por alimentación de picudo del chile (GL = 20; $F = 2.24$; $P = 0.008$) (Figura 7).

Figura 7. Promedio de daños por alimentación causados por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados por inmersión a dos concentraciones de extractos botánicos o insecticidas.

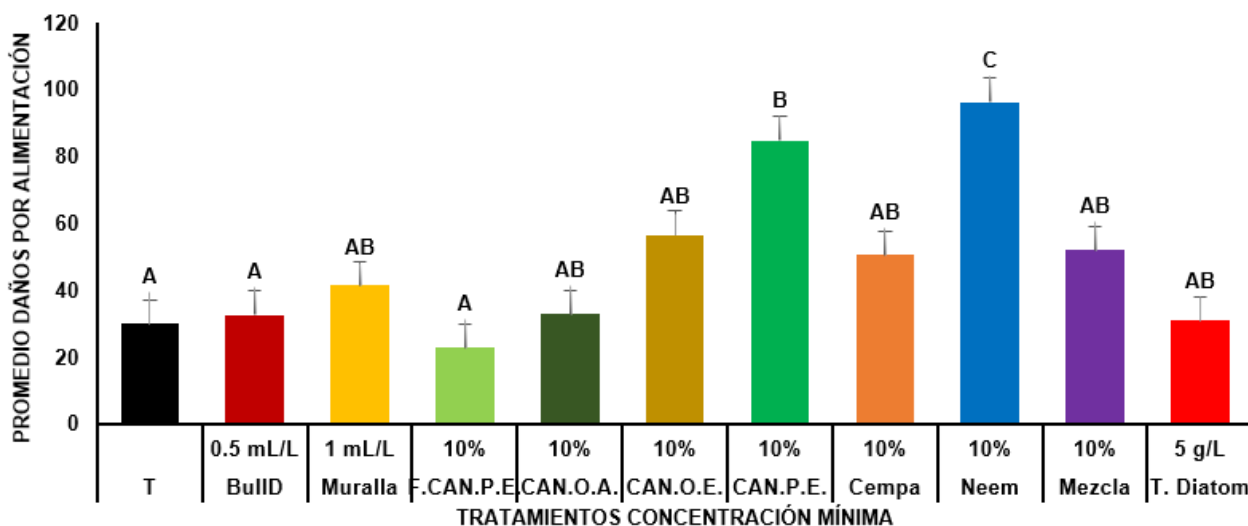


Nota: Las barras etiquetadas con la misma letra no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.3.1. Daños por alimentación en concentraciones mínimas

Ningún tratamiento generó la disminución de los daños por alimentación respecto al testigo negativo. El tratamiento con neem y Cannabis Paradise en etanol presentó incrementos significativos ($GL = 10$; $F = 3.25$; $P = 0.0051$) en los daños por alimentación de picudo del chile (Figura 8).

Figura 8. Promedio de daños por alimentación causados por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados por inmersión a la concentración mínima de extractos botánicos o insecticidas.

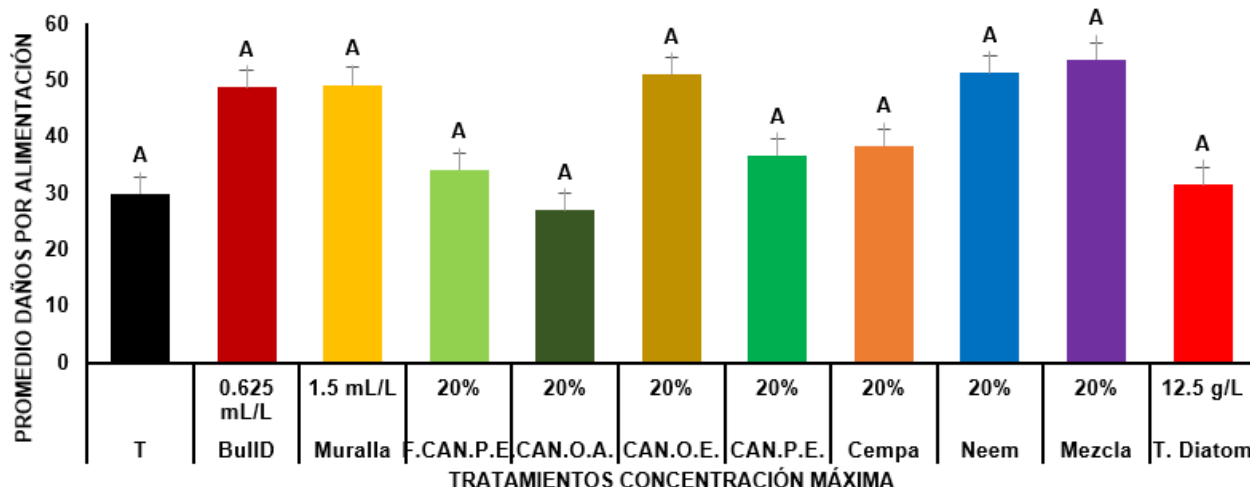


Nota: Las barras etiquetadas con la misma letra no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$).

4.3.2. Daños por alimentación en concentraciones máximas

Ningún tratamiento modificó significativamente los daños por alimentación del testigo o tratamientos químicos (GL = 10; $F = 0.82$; $P = 0.6112$) (Figura 9).

Figura 9. Promedio de daños por alimentación causados por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados por inmersión a la concentración máxima de extractos botánicos o insecticidas.



Nota: Las barras etiquetadas con la misma letra no difieren significativamente (GLM y separación de medias LSMEAN; $P \leq 0.05$)

5. Discusión

5.1. Supervivencia de adultos de *A. eugenii*

Los resultados registrados con los tratamientos químicos y orgánicos en la presente investigación sobre la supervivencia del picudo del chile son mayores con lo reportado por Labbé (2020) en el que utilizaron tratamientos orgánicos como el caolín, registrando entre un 14 a 68 % de supervivencia, así como al evaluar tiametoxam (39 % de supervivencia), un tratamiento químico. De igual forma, otros estudios confirman la efectividad de trabajar sustancias orgánicas para regular las poblaciones del picudo del chile, *A. eugenii*, a través de extractos a base de cempasúchil (Ozores-Hampton *et al.*, 2012; Bakshi y Ghosh, 2022) y marihuana (Partland y Sheikh, 2018). Así mismo, se considera que los extractos suspendidos en solventes como el etanol son más efectivos que aquellos suspendidos en agua.

5.2. Oviposturas por *A. eugenii* en frutos de chile

Nuestros resultados respecto al número de oviposturas por *A. eugenii* sobre frutos de chile tratados con extractos botánicos o insecticidas coinciden con los presentados por Addesso (2014); se registra una reducción en la tasa de oviposturas hasta de un 90 % al exponer el picudo de chile a frutos tratados con terpenos, caolín o tierra de diatomeas. Sin embargo, no indican una diferencia estadística con respecto a su testigo (15 al 28 %), caso contrario a nuestros resultados. Los efectos de la sustancia a base de terpenos podrían ser comparables con los tratamientos de marihuana en este estudio, ya que Partland y Sheikh (2018) mencionan que la efectividad en el control de pla-

gas con marihuana podría deberse a la presencia de terpenos, principalmente. Las discrepancias podrían deberse a la diferencia entre los métodos de aplicación u origen de los tratamientos.

5.3. Daños por alimentación en frutos de chile por *A. eugenii*

Sobre el daño por alimentación sobre los frutos de chile por *A. eugenii* difiere de los encontrados por Adesso (2014), reportando más de un 68 % de reducción en frutos de chile tratados con terpenos, caolín o tierra de diatomeas.

6. Conclusión

Los tratamientos orgánicos y químicos no afectan la supervivencia del picudo del chile respecto al testigo, esto no significa que los orgánicos tengan una menor efectividad respecto a los químicos. Todos los tratamientos orgánicos (a excepción del neem al 10 %) generaron disminuciones significativas de las oviposturas en los frutos respecto al testigo, comparables con las generadas por los tratamientos químicos convencionales, en el que destacó la tierra de diatomeas. Lo anterior quiere decir que los tratamientos orgánicos de marihuana, neem, cempasúchil y de tierra de diatomeas pueden ayudar a controlar las poblaciones del picudo del chile al reducir el número de oviposturas de manera similar a los tratamientos químicos convencionales.

En general, los tratamientos usados no influyen en el número de daños por alimentación. Las sustancias evaluadas representan alternativas prometedoras para implementarse en el control del picudo del chile en agricultura orgánica o convencional, además tienen el beneficio de ser más seguras que los químicos convencionales. Es importante explorar diversas concentraciones para identificar las más efectivas en el manejo de picudo del chile *A. eugenii* y extender las evaluaciones a nuevas sustancias orgánicas para propiciar prácticas agronómicas sostenibles.

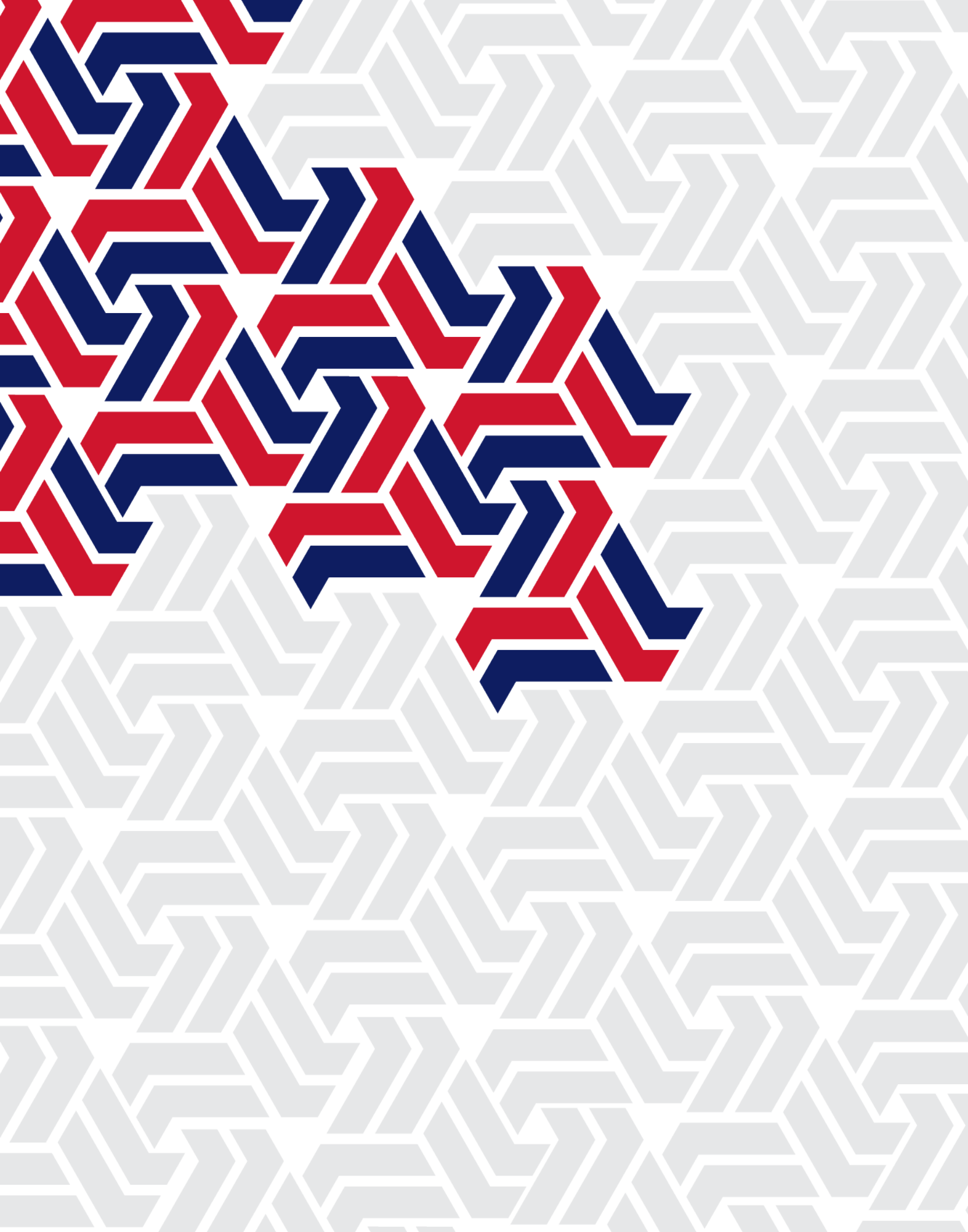
7. Referencias

- Addesso, K., *et al.* (2014). Organic treatments for control of pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, 97(3), 1148-1156. <https://doi.org/10.1653/024.097.0322>
- Bakshi, L. y Ghosh, R. (2022). Marigold biopesticide as an alternative to conventional chemical pesticides. *Journal of Advanced Scientific Research*, 13(05), 26-33. <https://doi.org/10.55218/JASR.202213503>
- Bayer Group. (2019). *Managing pepper weevil in pepper*. [Fotografía]. https://seminisus.s3.amazonaws.com/app/uploads/2019/05/9014_SE_S1_Managing-Pepper-Weevil-in-Pepper.pdf
- Capinera, J. (2002). Pepper weevil, *Anthonomus eugenii* Cano (Insecta: Coleoptera: Curculionidae). *Featured Creatures*, 2004(18). <https://doi.org/10.32473/edis-in555-2002>
- Cavoski, I., *et al.* (2011). Natural pesticides and future perspectives. En M. Stoytcheva (Ed.), *Pesticides in the modern world: Pesticides use and management* (pp. 169-186). <https://doi.org/10.5772/17550>
- Chun-Woo, N. (2017). Effect of agricultural organic materials using sulfur and oil on insect control in pepper and tomato. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 25(4), 737-747. <https://koreascience.kr/article/JAKO201734963727380.pdf>
- Csilléry, G. (2006). Pepper taxonomy and the botanical description. *Acta Agronomica Hungarica*, 54(2), 151-166. <https://doi.org/10.1556/AAgr.54.2006.2.5>
- Fernández, C., *et al.* (2020). An overview of the pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae) as a pest of greenhouse peppers. *Journal of Integrated Pest Management*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa029>
- Labbé, R., *et al.* (2020). Assessing new tools for management of the pepper weevil (Coleoptera: Curculionidae) in greenhouse and field pepper crops. *J. Econ. Entomol.*, 13(4), 1903-1912. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa092>
- Moleaer. (2022). *How to improve cultivation processes for greenhouse bell pep-*

- pers.* [Fotografía]. <https://www.moleaer.com/blog/horticulture/improve-cultivation-bell-peppers>
- Ozores-Hampton, M., Roberts, P., y Stansly, P. (2012). Organic pepper production. (V. Russo, Ed.) *Peppers: Botany, production and uses* (pp. 165-173). https://books.google.com.mx/books?hl=en&lr=&id=dA5m-kzfmATEC&oi=fnd&pg=PA165&dq=organic+pesticides+for+pepper+&ots=weKpDmzTHr&sig=2JWWzq7UH8aVkmSq-gDuTUYu2G-M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Partland, J., y Sheikh, Z. (2018). A review of cannabis sativa-based insecticides, miticides, and repellents. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6(6), 1288-1299.
- Reche, J. (2010). *Cultivo del pimiento dulce en invernadero*. (S. Signatura Ediciones de Andalucía, Ed.). Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones y Divulgación. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160265Cultivo_Pimiento_Invernadero.pdf
- Riley, D. y Sparks, A. (1995). *The pepper weevil and its management*. Texas Agricultural Extension Service. https://liveoak.agrilife.org/files/2011/07/PepperWeevilManagement_10.pdf
- Roy, S., et al. (2016). Use of plant extracts for tea pest management in India. *Applied Microbiology Biotechnology*, 100(11), 4831-4844.
- Sagarpa. (2017). *Chiles y pimientos mexicanos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257072/Potencial-Chiles_y_Pimientos-parte_uno.pdf
- Stevenson, P., et al. (2017). Pesticidal plants in Africa: A global vision of new biological control products from local uses. *Industrial Crops and Products*, 2-9.
- Torres-Ruiz, A., y Rodríguez-Leyva, E. (2012). *Guía para el manejo integrado de plagas del pimiento bajo invernadero, con énfasis en el picudo del chile*. Koppert México S.A. de C.V. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2688.4009>
- Van-Der-Gaag, D. y Loomans, A. (2013). *Pest Risk Analysis for Anthonomus eugenii*. <https://english.nvwa.nl/binaries/nvwa-en/documenten/plant/>

plant-health/pest-risk-analysis/documents/pest-risk-analysis-anthonomus-eugenii/Anthonomus_eugenii_July_2013_PRA.pdf

Workman, D. (s.f.). Top sweet pepper and chili pepper exporters. *World's Top Exports*. https://www.worldstopexports.com/top-sweet-pepper-and-chili-pepper-exporters/#google_vignette





**Universum
Nostrum**