

Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos

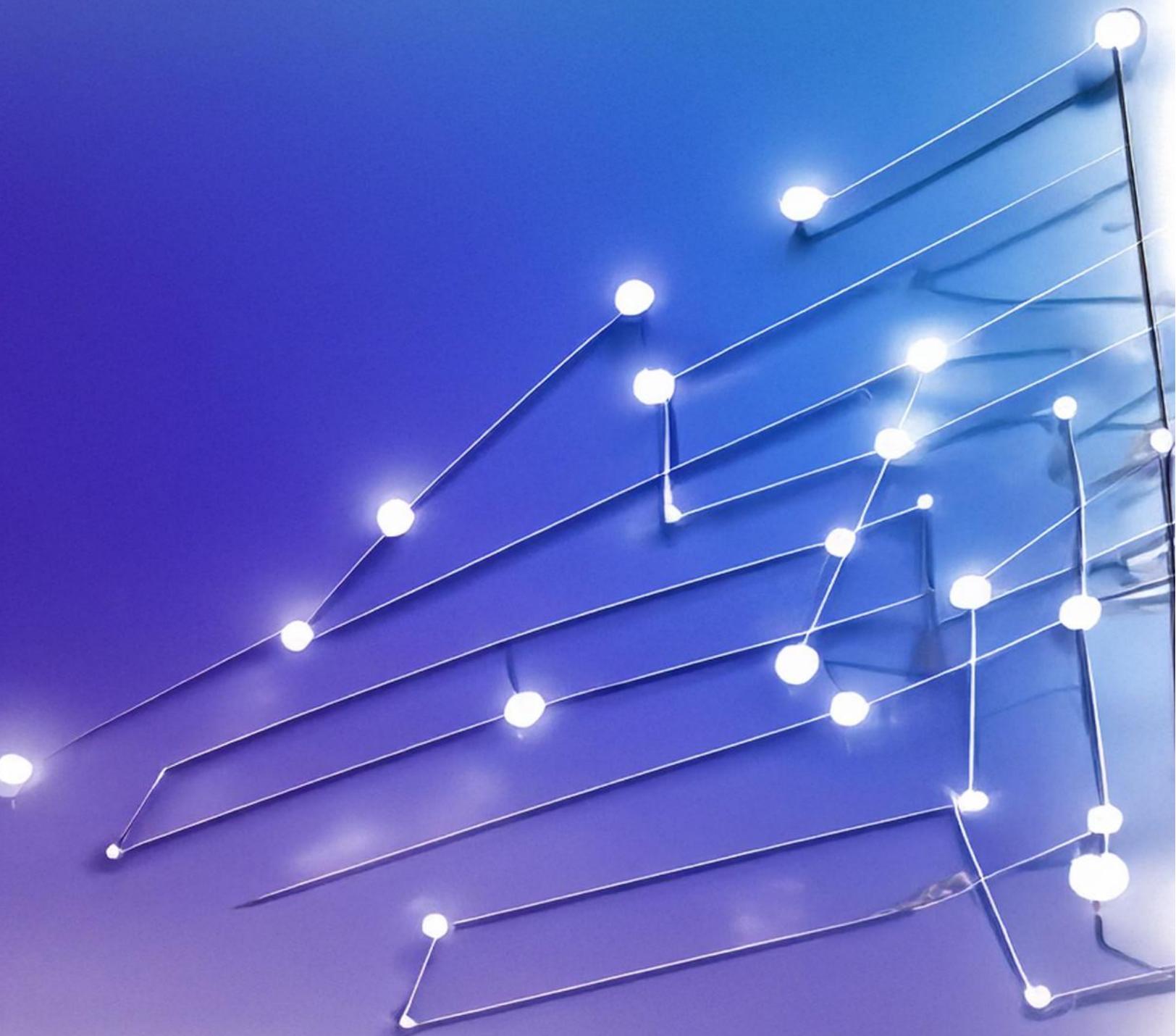


Coordinadores:

Sergio de los Santos Villalobos

Laura Elisa Gassós Ortega

Elizabeth González Valenzuela



COORDINADORES

Dr. Sergio de los Santos Villalobos
Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega
Mtra. Elizabeth González Valenzuela

**Líneas innovadoras de investigación de los
cuerpos académicos**



2024, Instituto Tecnológico de Sonora.
5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro,
Ciudad Obregón, Sonora, México; 85000
Web: www.itson.mx
Email: rectoria@itson.mx
Teléfono: (644) 410-90-00

Primera edición 2024
Hecho en México

ISBN: 978-607-609-262-0

Se prohíbe la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del Instituto Tecnológico de Sonora. Esta publicación ha sido dictaminada por pares en modalidad doble ciego.

Cómo citar un capítulo de este libro (se muestra ejemplo de capítulo I):

Valle, O., Pérez, J., Terán, R. y Beristáin, J. (2024). *Del convertidor formador de microrred de corriente alterna hacia un convertidos universal*. En S. Santos, L. Gassós y E. González (Comp.). Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos (pp. 11-24). México: ITSON.

DIRECTORIO

Dr. Jesús Héctor Hernández López
Rector del Instituto Tecnológico de Sonora

Dr. Ernesto Uriel Cantú Soto
Secretaría de la Rectoría

Dr. Jaime Garatuza Payán
Vicerrectoría Académica

Dr. Rodolfo Valenzuela Reynaga
Vicerrectoría Administrativa

Dra. María Dolores Moreno Millanes
Dirección Académica de Ciencias Económico-Administrativas

Dr. Armando Ambrosio López
Dirección Académica de Ingeniería y Tecnología

Dr. Pablo Gortares Moroyoqui
Dirección Académica de Recursos Naturales

Dra. Sonia Verónica Mortis Lozoya
Dirección Académica de Ciencias Sociales y Humanidades

Mtro. Mauricio López Acosta
Dirección Unidad Navojoa

Dr. Humberto Aceves Gutiérrez
Dirección Unidad Guaymas

COLABORADORES

Edición literaria

María de Jesús Cabrera Gracia

Liliana Vizcarra Esquer

Paula Guadalupe Valdez Mercado

Tecnología y diseño

Martín Escobar Cueva

Gestión editorial

Oficina de Publicaciones ITSON

Comité técnico científico

Mtra. Elizabeth González Valenzuela

Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

Lic. María de Jesús Cabrera Gracia

CONSEJO DICTAMINADOR DE PONENCIAS

1. Dra. María Paz Guadalupe Acosta Quintana
2. Dr. Sergio de los Santos Villalobos
3. Dra. Eneida Ochoa Ávila
4. Dr. Alfredo Bueno Solano
5. Dra. María Isabel Estrada Alvarado
6. Dr. Joel Angulo Armenta
7. Dra. Elba Myriam Navarro Arvizu
8. Dr. Miguel Ángel Bernal Reza
9. Dra. Grace Marlene Borboa Rojas
10. Dr. José Clemente Leyva Corona
11. Mtro. Carlos Arturo Ramírez Rivera
12. Dr. Oswaldo Alberto Madrid Moreno
13. Dra. Dina Ivonne Valdez Pineda
14. Dr. José Antonio Beristáin Jiménez
15. Mtra. María del Carmen Vásquez Torres
16. Dr. Javier Alejandro Santana Martínez
17. Dra. Dora Yolanda Ramos Estrada
18. Dr. René Daniel Fornés Rivera
19. Dra. Nora Edith González Navarro
20. Dr. Rafael Alfonso Figueroa Díaz
21. Dra. Diana Mejía Cruz
22. Dr. Luis Alberto Cira Chávez
23. Dra. Luz Alicia Galván Parra
24. Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega
25. Dra. Beatriz Alicia Leyva Osuna
26. Dr. José Manuel Ochoa Alcántar
27. Mtra. Claudia Alvarez Bernal
28. Dr. Cristian Salvador Islas Miranda
29. Dra. Ana María Rentería Mexía

ÍNDICE

Capítulo 1.....	11
<i>Del convertidor formador de microrred de corriente alterna hacia un convertidor universal</i>	
Obed Valle López	
Javier Pérez Ramírez	
Raúl Antonio de Jesús Terán González	
José Antonio Beristáin Jiménez	
Capítulo 2.....	25
<i>Desarrollo de un reemplazo de circuito integrado decodificador de teclados matriciales</i>	
Eduardo Romero Aguirre	
Darcy Daniela Flores Nieblas	
María Lourdes Silva García	
Capítulo 3.....	40
<i>Análisis del flujo de potencia entre dos bancos de baterías con diferentes niveles de tensión utilizando un convertidor CD-CD bidireccional</i>	
José Antonio Beristáin Jiménez	
Omar Ernesto Oroz Gartner	
Javier Pérez Ramírez	
Obed Abraham Valle López	
Capítulo 4.....	55
<i>Desplazamiento en rutas preprogramadas para robots móviles autónomos orientado por GPS</i>	
Adolfo Espinoza Ruiz	
Érica Cecilia Ruiz Ibarra	
Joaquín Mass Sánchez	
Rafael Alfonso Figueroa Díaz	
Capítulo 5.....	68
<i>Implementación de un prototipo de pruebas de bajo costo para el laboratorio de Teoría de control</i>	
Adolfo Soto Cota	
José Manuel Campoy Salguero	
Andrés Othón Pizarro Lerma	
Capítulo 6.....	80
<i>Diseño conceptual y análisis de dispositivo de protección para robot industrial</i>	
Pablo Alberto Limon Leyva	
Rafael Alfonso Figueroa Díaz	
Adolfo Soto Cota	
Erica Cecilia Ruiz Ibarra	
Capítulo 7.....	92
<i>Mejorando la gestión del proceso de seguimiento del curso en una institución de educación superior</i>	
María Elena Espinoza Arias	
Isabel Francisca Osua Acosta	
Elva Lizeth Gutiérrez Mendivil	
Joshinia Benitez Martínez	

Capítulo 8.....	106
<i>Evaluación de la depresión en estudiantes de nivel medio superior post pandemia</i>	
Jesús Manuel Vidaña López	
Ricardo Ernesto Pérez Ibarra	
América Aracely Pérez Dueñas	
María Fernanda Durón	
Capítulo 9.....	120
<i>Satisfacción de estudiantes universitarios de nuevo ingreso respecto al curso Salud y desarrollo personal</i>	
Paola Escobedo Hernández	
Raquel García Flores	
Sonia Beatriz Echeverría Castro	
Capítulo 10.....	131
<i>Autoeficacia y hábitos de alimentación en niños de educación primaria en Navojoa, Sonora</i>	
Ricardo Sandoval Domínguez	
José Francisco Miranda Esquer	
Jesús Bernardo Miranda Solís	
Brigit Arlette Escobar Fuentes	
Capítulo 11.....	145
<i>Análisis de elementos y funciones de stakeholders sociales involucrados en la gestión del agua para su sustentabilidad, revisión sistemática</i>	
Zulema Isabel Corral Coronado	
Elba Myriam Navarro Arvizu	
María del Carmen Vásquez Torres	
María Elvira López Parra	
Capítulo 12.....	157
<i>Evaluación de las descargas de aguas residuales porcícolas y su potencial uso agrícola en el estado de Sonora</i>	
Juan Francisco Maldonado Escalante	
Denisse Serrano Palacios	
Edna Rosalba Meza Escalante	
Luis Humberto Álvarez Valencia	
Capítulo 13.....	170
<i>Daño por plomo en peces y riesgo a la salud en bahía de lobos, Sonora</i>	
José de Jesús Balderas Cortés	
Juan Francisco Maldonado Escalante	
Iram Mondaca Fernández	
Sara Roxana Maldonado Bustamante	
Capítulo 14.....	183
<i>Capacidad antioxidante in vitro de hidrolizado de subproductos de pollo glicadas vía reacción de Maillard</i>	
Blanca Areli Mondaca Navarro	
Roberto Rodríguez Ramírez	
Alma Guadalupe Villa Lerma	
Maritza Arellano Gil	

Capítulo 15.....	197
Caracterización parcial de glicoconjugados provenientes de hidrolizado proteico de vísceras de pollo con glucosa	
Juan Bautista Flores Quezada	
Alma Guadalupe Villa Lerma	
Luz Angelica Ávila Villa	
Rigoberto Plascencia Jatomea	
Capítulo 16.....	209
Ensayo isotérmico-colorimétrico para la detección rápida y sencilla del virus de la <i>rinotraqueítis infecciosa bovina</i>	
Carlos Eduardo Aragón López	
Marcela Ivone Morales Pablos	
Luis Ángel Flores Encinas	
José Clemente Leyva Corona	
Capítulo 17.....	220
Microorganismos endémicos involucrados en el proceso de elaboración del bacanora	
Luis Alberto Cira Chávez	
Laura Elisa Gassos Ortega	
Sergio de los Santos Villalobos	
María Isabel Estrada Alvarado	
Capítulo 18.....	231
<i>Sistema de monitoreo remoto para el área de andenes</i>	
Érica Cecilia Ruiz Ibarra	
Adolfo Espinoza Ruiz	
Griselda Gonzalez Díaz Conti	
Pablo Alberto Limón Leyva	

PRÓLOGO

Los Cuerpos Académicos (CA) en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) se centran en el quehacer académico-científico de forma integral y trascendental. Estos CA son un equipo de investigadoras e investigadores con intereses y experiencia en líneas de estudio afines, con el sólido compromiso de generar y/o aplicar conocimientos de vanguardia para potenciar la calidad de vida de nuestra sociedad. Además, la especialización de las y los integrantes de los CA impacta positiva y significativamente en la formación integral de nuestra comunidad estudiantil, entendiéndose como un modelo de enseñanza que se caracteriza por la integración de diversas habilidades, tales como: sociales, intelectuales, profesionales y humanas.

Esta obra intitulada ***Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos*** tiene como objetivo difundir trabajos desarrollados en CA de nuestra institución. Estas contribuciones destacan la importancia del conocimiento e investigación en áreas como: electrónica, desarrollo de *software*, modelos matemáticos, sistemas agrícolas, sistemas biológicos, estudios psicológicos, y biorremediación.

La comunidad ITSON está plenamente convencida, y trabaja fuertemente, para que la difusión de los trabajos realizados por sus CA potencie la generación y consolidación de conocimientos de vanguardia, fomenta nuevas colaboraciones transdisciplinarias y fortalecer aquellas existentes. Esta filosofía de trabajo, nos permite comprender de manera holística los fenómenos estudiados, que han resultado del análisis de las necesidades en la región y en México. Estos enfoques, por otra parte, potencian la formación integral de nuestra comunidad de estudiantes, con capacidad crítica, creativa y liderazgo para afrontar los retos que demandan Sonora y México.

Dr. Sergio de los Santos Villalobos
Profesor Investigador
Departamento de Educación
Instituto Tecnológico de Sonora
Junio, 2024

Capítulo 1

Del convertidor formador de microrred de corriente alterna hacia un convertidor universal

Obed Valle López

Javier Pérez Ramírez

Raúl Antonio de Jesús Terán González

José Antonio Beristáin Jiménez

Resumen

En este trabajo se presenta una manera en la cual los convertidores de una microrred de corriente alterna, pueden cambiar su función de formadores a alimentadores y viceversa. Al convertidor que tenga esta propiedad de reconfigurar su funcionamiento en este artículo se le denominará convertidor universal. Esto implica un cambio en el concepto de los convertidores a como actualmente están reportados en la literatura. Para ello se ha hecho una propuesta en el control de dichos convertidores y se ha mostrado con resultados de simulación la viabilidad que nos lleva hacia los convertidores universales. Con lo cual se tendría un impacto positivo muy fuerte en la robustez de las microrredes de CA.

Palabras clave: Microrred eléctrica de CA, convertidor formador de red, convertidor alimentador de red, electrónica de potencia, control de convertidores

Introducción

Dentro de la arquitectura de las microrredes eléctricas de corriente alterna, basadas principalmente en electrónica de potencia, se encuentran tres tipos de convertidores de potencia; estos son conocidos en la literatura como convertidor formador de red (grid-forming converter), convertidor seguidor de red (grid-following converter) y convertidor de soporte de red (grid-supporting converter) (Rocabert et al., 2012). Los nombres asignados a estos convertidores se inspiran en la función específica que desempeñan dentro de la microrred.

El convertidor formador de red cumple la importante función de establecer un voltaje en el punto de común acoplamiento (PCC, por sus siglas en inglés) cuando la red principal no se encuentra disponible, es decir, cuando la microrred opera en modo isla. El control de frecuencia y amplitud de este voltaje en el PCC es responsabilidad del formador de red, por lo tanto, este convertidor es generalmente visualizado como una fuente de voltaje.

Por otro lado, en (Rocabert et al., 2012), se hace mención que el convertidor seguidor de red, se encarga de mantener la sincronía con el voltaje impuesto en el PCC, ya

sea que este voltaje sea impuesto por la red principal (modo red), o por un convertidor formador de red (modo isla). El seguidor de red es también conocido como alimentador de red (grid-feeding converter), ya que puede cumplir la función de alimentar la microrred, es decir, de energizarla a través de la inyección de corriente, ya sea durante modo red o modo isla. Debido a esta función, el convertidor seguidor-alimentador es generalmente modelado como una fuente de corriente (Unruh et al., 2020).

El convertidor de soporte de red es aquel encargado de compensar las desviaciones de voltaje y frecuencia. Este convertidor se puede visualizar ya sea como un formador de red, o bien, como un seguidor-alimentador de red, es decir, puede funcionar ya sea como una fuente de voltaje, o bien, como una fuente de corriente, respectivamente. Sin embargo, su función es dirigida a la compensación de variaciones y/o desviaciones de frecuencia y amplitud en el PCC.

La literatura reporta diversos trabajos que muestran resultados de la operación entre convertidores formadores de red y convertidores seguidores de red. (Rosso et al., 2020). Estos trabajos muestran que la estabilidad de una microrred es mejorada en presencia de más convertidores formadores de red. (Rosso et al., 2021). Aunque actualmente la mayoría de convertidores interconectados a las redes son del tipo seguidor-alimentador, los sistemas de potencia futuros requerirán de contar con convertidores con ambas funcionalidades, tanto de formador de red como de seguidor-alimentador, tal y como se discute en (Lin et al., 2020). En (Terán et al., 2023) se presentó el control de un formador de red y un alimentador de red, para la transición de modos de operación. Mientras que en (Terán et al., 2022a) se muestra la operación de los mismos convertidores en modo isla. Asimismo, en (Terán et al., 2022b) se expuso el desacoplamiento y resincronización del convertidor formador de red. Por otra parte, en (Terán et al., 2020) se muestra el correcto funcionamiento de esquemas de control en microrredes de CA.

En los trabajos antes mencionados se puede observar que las topologías son muy similares, con excepción de los filtros de acoplamiento al PCC. Cuando una microrred de CA se encuentra operando en modo isla, en el convertidor formador recae toda la responsabilidad de hacer que la red se mantenga en funcionamiento; ya que los demás convertidores, participantes en la microrred, basan su funcionamiento en la señal de voltaje generada por dicho convertidor.

El problema a abordar es si es posible que los otros convertidores de la microrred, a través de la modificación del esquema de control y utilizando la misma topología, serían

capaces de sustituir al convertidor formador de red en caso de alguna eventualidad que haga que el convertidor formador de red deje de funcionar.

Objetivo

Ampliar la funcionalidad de un convertidor alimentador con la finalidad de que, bajo condiciones de falla del convertidor formador, éste pueda sustituirlo a través de la reconfiguración de su funcionamiento, sin que las cargas de la microrred se vean afectadas de forma significativa.

Metodología y desarrollo

En resumen, el método a seguir parte del diseño de los convertidores, así como su estrategia de control, para terminar con su validación en simulación. A continuación, se describe un poco más a detalle en que consiste el desarrollo del trabajo.

1. Hacer la revisión bibliográfica sobre los convertidores usados en una microrred y sus funciones. Esto incluye investigar qué topologías de convertidores se utilizan, qué algoritmos o estrategias de control se utilizan.
2. Diseñar un convertidor formador de red. Esto incluye el dimensionamiento de los elementos que conforman el convertidor, tales como bobinas, capacitores y transistores. Así como también incluye el diseño del controlador que hace que el convertidor opere de forma adecuada.
3. Diseñar un convertidor alimentador de red. Esto incluye todo lo mencionado para el convertidor formador.
4. Mostrar la interacción entre los dos convertidores en modo isla. Esto se muestra en el simulador PSIM obteniendo las gráficas de corriente, voltaje y potencia. Se muestra cómo se forma el voltaje y la cantidad de potencia con la que contribuye cada convertidor.
5. Invertir la operación de los convertidores, es decir, que el convertidor formador ahora actúe como alimentador y que el convertidor alimentador actúe como formador. Esto se lleva a cabo en el software de simulación PSIM.
6. Concluir el proyecto documentando los principales hallazgos.

A continuación, se desarrolla la metodología expuesta presentando lo más relevante que se ha logrado hasta el momento.

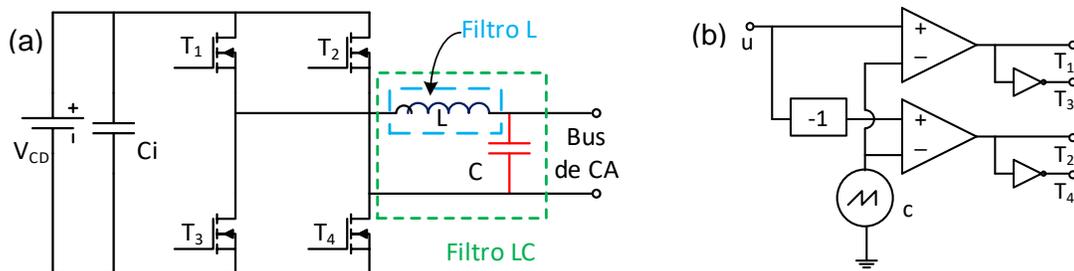
Desarrollo

El enfoque principal de este artículo es sobre los convertidores de potencia que forman parte de la microrred. La Figura 1(a) muestra el esquema de convertidor de potencia que es utilizado, tanto para el convertidor formador como para el convertidor alimentador.

Cuenta con un inversor formado por 4 transistores, o también se dice que se forma de dos ramas, una rama la conforman los transistores T_1 y T_3 ; mientras que la otra rama la conforman los transistores T_2 y T_4 ; los transistores operan como interruptores, ya sea como interruptor abierto o como interruptor cerrado. Los transistores de una rama siempre deben trabajar de forma complementaria, es decir, si un transistor conduce el otro debe permanecer como interruptor abierto. La función del convertidor es transformar un voltaje de CD a un voltaje de CA, y también se le conoce como convertidor inversor, o simplemente inversor. Del lado CD cuenta con una batería y un capacitor de CD, denotado por C_i . En caso de ser un formador de red, del lado de CA cuenta con un filtro LC, constituido por el capacitor C de CA y la bobina L; mientras que en el caso de que el convertidor funcione como alimentador, se puede prescindir del capacitor de C y ser solo un filtro L, o en su defecto también puede utilizar el capacitor C. Para que el inversor pueda convertir el voltaje de CD a CA, es necesario operar los transistores de forma adecuada. Para esto se utiliza un modulador por ancho de pulso (PWM), mostrado en la Figura 1(b); donde se observa que está formado de dos comparadores, los cuales al comparar la señal u con la señal triangular c , generan las señales de disparo de los transistores. La señal u provendrá del algoritmo de control que gobierna el funcionamiento de cada convertidor. Cada comparador controla una de las ramas del convertidor, uno de los comparadores genera la señal de disparo para el transistor T_1 ésta misma señal se hace pasar por un inversor lógico para generar la señal de disparo del transistor T_3 de la misma rama; el otro comparador hace lo correspondiente para controlar los transistores T_2 y T_4 de la otra rama, solo que en este caso la señal u es multiplicada por -1 , con esto garantizamos la adecuada conversión de un voltaje de CD a un voltaje de CA. Cada convertidor, formador o alimentador, utiliza su propio modulador PWM.

Figura 1

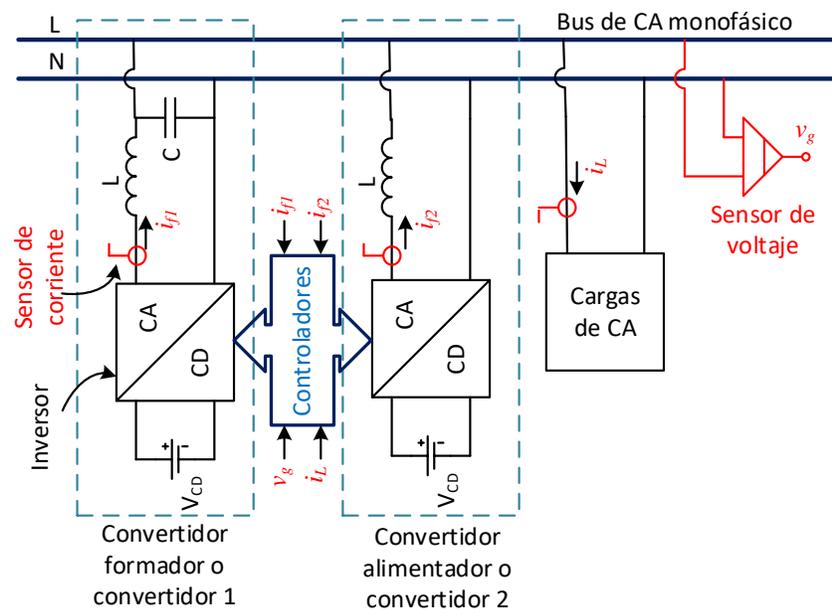
(a) Esquema del convertidor de potencia utilizado a sea como formador de red o como alimentador. (b) Esquema del modulador por ancho de pulso (PWM)



La propuesta de microrred de CA para probar el convertidor universal se presenta en la Figura 2. Se muestra el esquema de un prototipo de microrred de CA, este prototipo cuenta con los elementos mínimos, como se puede observar cuenta con un convertidor formador de red, un convertidor alimentador de red, y las cargas. Tanto el convertidor formador como el alimentador hacen uso del inversor mostrado en la figura 1. Cada convertidor cuenta con una fuente de alimentación que en este caso es una batería, aunque esta fuente sin problema se pudiera sustituir por paneles solares. También se muestran las cargas en el bus de CA. El convertidor formador está acoplado al bus de CA a través de un filtro LC, mientras que el convertidor alimentador está acoplado a través de un filtro L. Cada convertidor debe llevar su propio controlador para hacer que desempeñe, ya sea la función de formador o de alimentador, en la Figura 2 están representados por la caja que dice controladores. Estos controladores hacen uso de sensores de voltaje y corriente. Se requieren tres sensores de corriente, dos para la corriente que entrega cada convertidor (i_{r1} e i_{r2}) y otro para la corriente que consumen las cargas (i_L). También es necesario incluir un sensor de voltaje, que nos dirá qué tan bien estamos formando el voltaje en el bus de CA (v_g). Como se verá más adelante, ambos convertidores pueden desempeñar la función de formadores o de alimentadores, evolucionando a convertidores universales, por lo que en lugar de llamarlo convertidor formador, simplemente lo llamaremos convertidor 1, y al convertidor alimentador lo llamaremos convertidor 2.

Figura 2

Esquema general de la microrred de CA

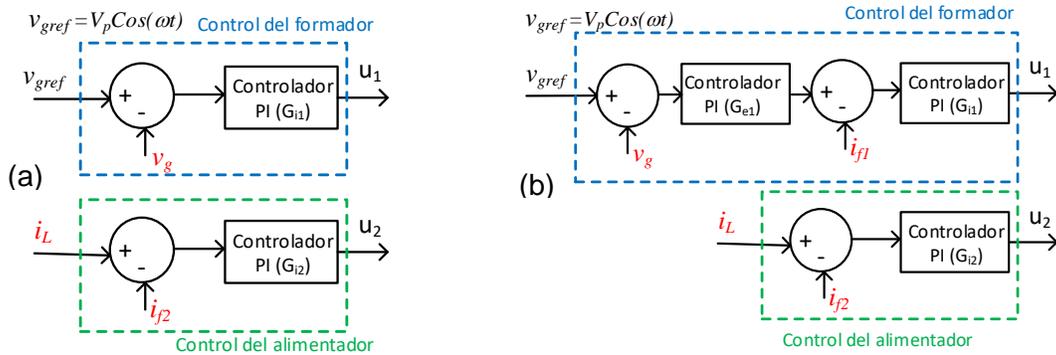


Propuesta de control

La propuesta de los controladores se basa en hacer que los convertidores sean capaces de servir cargas tanto lineales como no lineales y que no importando si existen cambios de carga, en el bus de CA siempre debe existir un voltaje sinusoidal con una distorsión muy baja, por norma esta distorsión debería de ser menor al 5% (Duffey et al. 1989). La función del convertidor formador de red es dar esa forma sinusoidal esperada en el bus de CA, mientras que la función del convertidor alimentador es entregar parte de la potencia que consumen las cargas. La figura 3(a) muestra los esquemas de control para cada convertidor, el control para el convertidor formador consta de un controlador PI el cual trata de hacer cero el error entre una referencia dada por $v_{gref} = V_p \cos(\omega t)$ y el voltaje detectado en el bus de CA, v_g , la salida del controlador dada por u_1 corresponde a la entrada del modulador PWM del convertidor formador. Por otro lado, el controlador del convertidor alimentador consta de un controlador PI, pero en este caso la variable a controlar es la corriente que entrega el convertidor alimentador (i_{r2}), la cual tratará de igualar a la corriente de la carga (i_L). Este controlador entrega la señal de control u_2 , la cual irá a la entrada del modulador PWM del alimentador. Este par de controladores trabajan muy bien, pero no nos pueden ser útiles para el convertidor universal, ya que cada uno de ellos tienen una sola función específica. En la Figura 3(b), se presenta una modificación al controlador del formador que nos acerca a la propuesta de control de convertidor universal. Ahora consta de dos controladores conectados en cascada, se ha agregado un controlador de corriente, que llamaremos lazo interno (G_{i1}) cuya referencia es generada por el controlador de voltaje (G_{e1}), al cual le llamaremos lazo externo. Lo único que se ha hecho es agregar un controlador de corriente redundante, el cual en principio no era necesario para el funcionamiento del formador; sin embargo, la novedad que se tiene que resaltar es que el voltaje en el bus de CA ahora es controlado indirectamente por un controlador de corriente, ya que la señal de control es u_1 es generada directamente por dicho controlador. En lo que se refiere al controlador del alimentador es exactamente el mismo que el de la Figura 3(a); el desempeño de los controladores de la Figura 3(b) es exactamente el mismo que los de la figura 3(a), y aunque aún no serían de utilidad para el convertidor universal, ya nos acerca bastante cómo se verá a continuación.

Figura 3

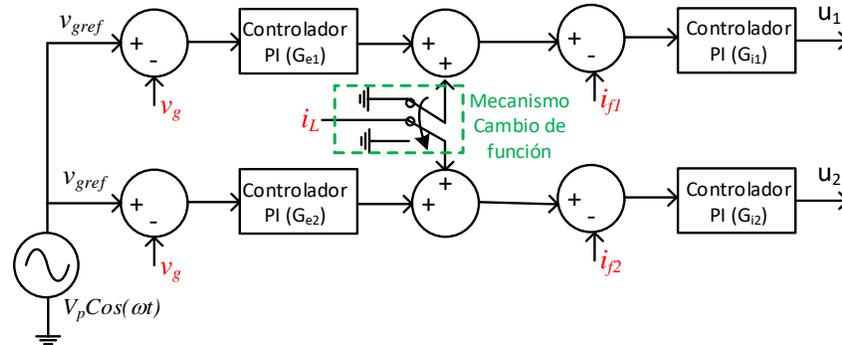
(a) Controladores del formador y alimentador. (b) Controlador del formador modificado



Lo que haría universal a un convertidor es que se le dé la capacidad de funcionar como formador o como alimentador en el momento que se le indique y eso recae principalmente en su esquema de control. La Figura 4 presenta el esquema de control propuesto para que los convertidores sean universales. Tomando como punto de partida los controladores de la figura 3, ahora ambos controladores constan de dos lazos, uno interno de corriente y uno externo de voltaje; entre cada lazo se ha agregado un punto de suma donde puede o no ser ingresada la corriente detectada de la carga (i_L). Nótese que ya no se han denominado control del formador o control del alimentador, porque ahora dependiendo de a que controlador se le proporcione la señal detectada de la corriente de carga (i_L), es el que fungirá como alimentador, mientras que el otro funcionará como formador. El mecanismo de selección de función de los convertidores consta de un selector de dos vías, ambas vías se mueven de forma simultánea; en la posición que se encuentran en la figura, el controlador superior fungirá como formador puesto que en el punto de suma recibirá el valor de cero, denotado por el símbolo de tierra, mientras que el controlador inferior fungirá como alimentador puesto que estará recibiendo la señal de referencia de la corriente de carga (i_L). Si ahora se mueve el selector hacía abajo, de manera que la corriente i_L sea recibida por el controlador superior y el controlador inferior reciba un cero, entonces el controlador superior fungirá como alimentador, mientras que el controlador inferior fungirá como formador. Con esto cualquiera de los dos convertidores puede trabajar como formador o como alimentador en el momento que se le indique, es decir ambos se han vuelto convertidores universales.

Figura 4

Propuesta del esquema de control para reconfigurar los convertidores

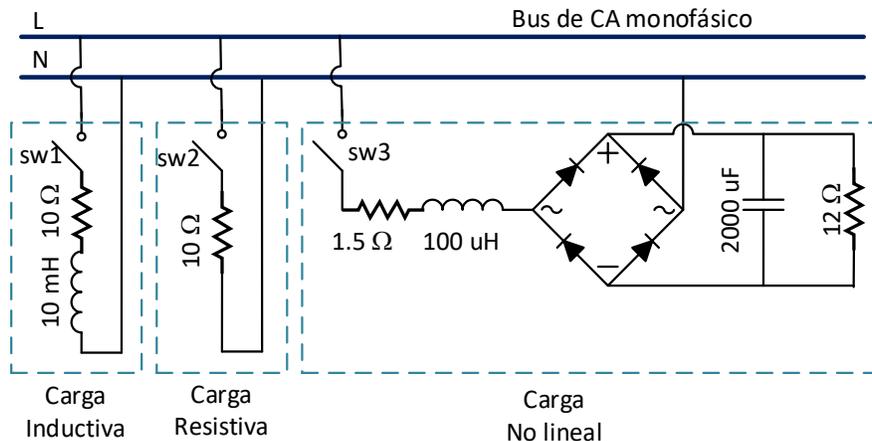


Resultados y su discusión

Para corroborar el funcionamiento del convertidor universal, se utilizó el esquema de microrred de la Figura 2, así como el esquema de control de la Figura 4. Se utilizaron tres tipos de cargas para llevar a cabo las pruebas, una carga inductiva, una carga resistiva y una carga no lineal conformada por un rectificador monofásico, estas cargas se conectan o desconectan a través de los interruptores sw1, sw2 y sw3, respectivamente. Los valores de los elementos de las cargas vienen especificados en la Figura 5.

Figura 5

Cargas utilizadas para la validación del convertidor universal



En la Tabla 1 se presentan los valores de parámetros utilizados en los filtros de acoplamiento al bus de CA, así como los parámetros de los controladores PI.

Tabla 1

Valores de los parámetros utilizados en las pruebas de simulación

Parámetro	Valor
Inductancia de los filtros de acoplamiento al bus de CA (L)	350 μ H
Capacitor del filtro de acoplamiento al bus de CA (C)	3200 μ F
Capacitor del lado del bus de CD (C_i)	1000 μ F
Ganancias proporcionales de los controladores del lazo interno (G_{i1} y G_{i2})	0.01
Constantes de tiempo de los controladores del lazo interno (G_{i1} y G_{i2})	0.0001 s
Ganancias proporcionales de los controladores del lazo externo (G_{e1} y G_{e2})	50
Constantes de tiempo de los controladores del lazo externo (G_{e1} y G_{e2})	1 s
Frecuencia de la portadora c .	12 kHz

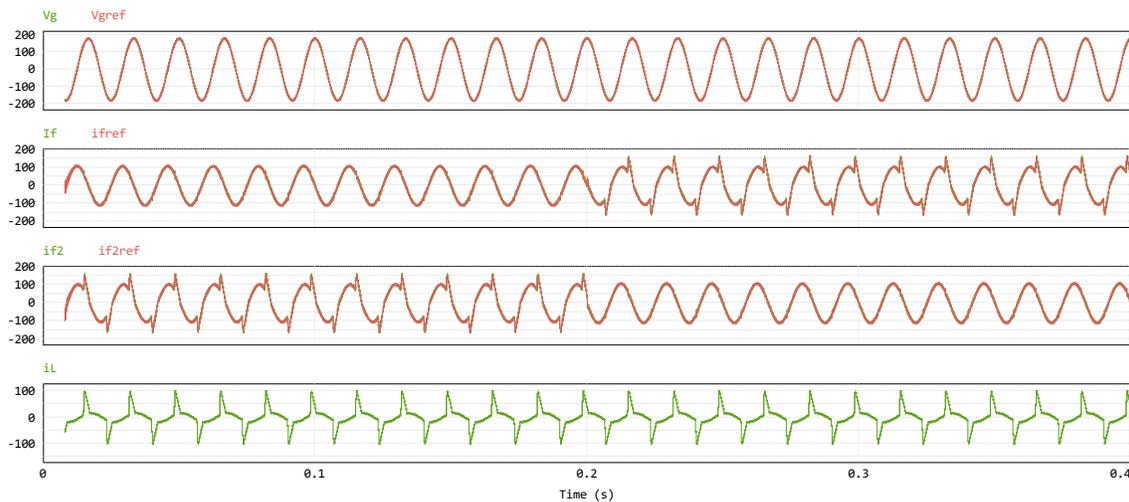
A continuación, se presentan los resultados obtenidos. En todas las figuras se presentan las siguientes señales: el voltaje en el bus de CA (v_g) y su referencia (v_{gref}), la corriente que inyecta uno de los convertidores (i_f) y su referencia (i_{fref}), la corriente que inyecta el segundo convertidor (i_{f2}) y su referencia (i_{f2ref}), y la corriente de carga (i_L). En adelante, para todas las pruebas presentadas, al convertidor que inyecta la corriente i_f lo llamaremos convertidor 1, y al convertidor que inyecta la corriente i_{f2} lo llamaremos convertidor 2.

En la Figura 6 se muestra una prueba donde las tres cargas están conectadas en todo momento y podemos ver que todas las señales involucradas siguen perfectamente sus referencias, ya que están superpuestas, con lo que se puede afirmar que los controladores están trabajando de forma adecuada. En 0.2 segundos se hace la transición para cambiar de modo de operación de los convertidores, antes de 0.2 segundos, el convertidor 1 está trabajando como formador, esto se puede afirmar debido a que la forma de la i_{f2} contiene los armónicos de la carga no lineal y eso es porque en ese momento a ese convertidor se le está indicando que suministre la corriente que solicitan las cargas. En 0.2 segundos,

se lleva a cabo la transición y ahora el convertidor 1 trabaja como alimentador, mientras que el convertidor 2 pasa a ser el formador, esto se puede corroborar al observar las formas de onda de su respectiva corriente. Y como se puede apreciar, la red es bastante robusta a que el voltaje en el bus de CA (v_g) permanece sin cambio alguno a pesar de la transición.

Figura 6

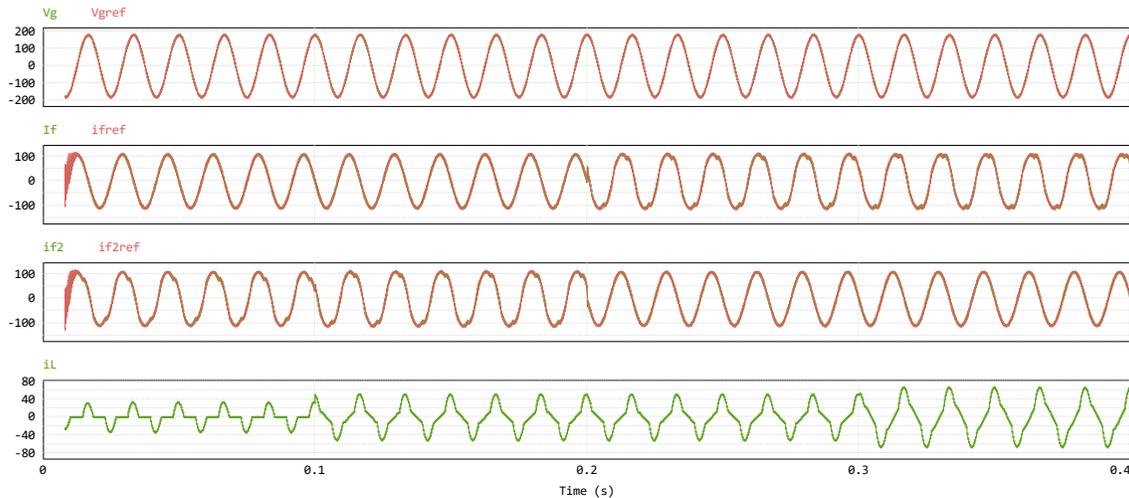
Pruebas con todas las cargas haciendo la transición de modo de operación de los convertidores en 0.2 segundos



En la segunda, prueba presentada en la Figura 7, a parte de la transición de modo que se vuelve a llevar en 0.2 segundos, también se llevan a cabo cambios de carga. El sistema arranca únicamente con la carga no lineal, pero en 0.1 segundos se agrega la carga resistiva, y en 0.3 segundos se agrega la carga inductiva. En todo el intervalo de simulación tanto el voltaje como las corrientes siguen perfectamente a sus referencias, mostrando nuevamente el buen funcionamiento de los controladores. Antes de 0.2 segundos el convertidor 1 está trabajando como formador, mientras que el convertidor 2 está trabajando como alimentador, esto se puede constatar con las formas de sus corrientes. Y lo más importante, se puede ver en todo momento como el voltaje en el bus de CA permanece imperturbable, a pesar de los cambios de carga y de la transición en el modo de operación.

Figura 7

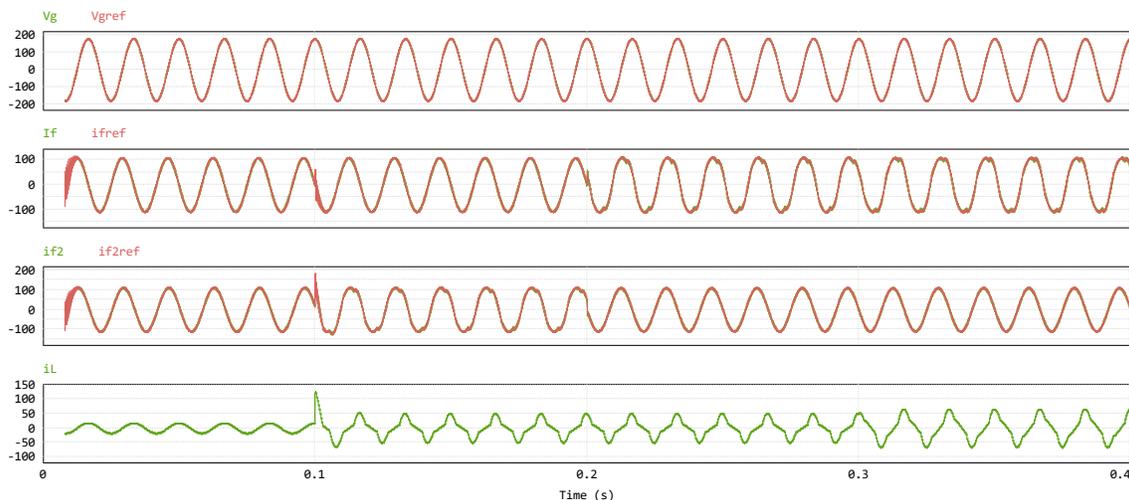
Pruebas haciendo cambios de cargas, arrancando con la carga no lineal, haciendo la transición de modo de operación de los convertidores en 0.2 segundos.



La prueba tres, ya simplemente es una variante de la prueba dos, solo que en este caso se arranca con la carga resistiva, después en 0.1 segundos se activa la carga no lineal y en 0.3 segundos se agrega la carga inductiva. Al igual que en la prueba anterior, el voltaje y las corrientes inyectadas por los convertidores siguen perfectamente bien sus referencias aun en presencia de cambios de carga y de modo de operación de los convertidores. Mostrando que el voltaje sigue imperturbable a pesar de dichos cambios.

Figura 8

Pruebas haciendo cambios de cargas, arrancando con la carga lineal, haciendo la transición de modo de operación de los convertidores en 0.2 segundos



Con estos resultados se ha mostrado que los convertidores de una microrred de CA pueden reconfigurarse de acuerdo a lo que la microrred necesite en algún momento determinado. Esto sin que la microrred deje de operar.

Conclusiones

Se mostró que es posible que un convertidor pueda operar como alimentador o como formador, esto es un cambio fuerte en la concepción de los convertidores utilizados en una microrred de CA, ya que lo típico es que cada convertidor desempeñe su función específica para la que fue diseñado. Aún más, esta forma de conceptualizar los convertidores como universales podrán otorgarle más robustez a la microrred, ya que en caso de que el convertidor que esté fungiendo como formador pudiera llegar a tener alguna falla, otro de los convertidores alimentadores puede tomar su lugar reconfigurándose como se ha mostrado en este trabajo y hacer que la red pueda seguir operando sin ningún problema; claro, esto es posible siempre y cuando exista la potencia suficiente en las fuentes de los convertidores restantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo a través de los fondos del proyecto CBF2023-2024-3800, con título: “Cambio de paradigma en la formación de voltaje en microrredes eléctricas de CA usando cargas inteligentes”; “proyecto apoyado por el Conahcyt en el año 2024”; y al Instituto Tecnológico de Sonora por los fondos proporcionados a través del programa PROFAPI.

Referencias

- Rocabert, J., Luna, A., Blaabjerg, F., & Rodríguez, P. (2012). Control of Power Converters in AC Microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4734–4749. <https://doi.org/10.1109/tpel.2012.2199334>
- Rodríguez, J. D. B., & Paja, C. a. R. (2017). Types of inverters and topologies for microgrid applications. *Revista UIS Ingenierías*, 16(1), 7–14. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n1-2017001>
- Unruh, P., Nuschke, M., Strauß, P., & Welck, F. (2020). Overview on Grid-Forming Inverter control Methods. *Energies*, 13(10), 2589. <https://doi.org/10.3390/en13102589>
- Rosso, R., Engelken, S., & Liserre, M. (2020). Robust stability investigation of the interactions among Grid-Forming and Grid-Following converters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 8(2), 991–1003. <https://doi.org/10.1109/jestpe.2019.2951091>
- Rosso, R., Wang, X., Liserre, M., Lu, X., & Engelken, S. (2021). Grid-Forming Converters: Control Approaches, Grid-Synchronization, and Future Trends—A review. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 2, 93–109. <https://doi.org/10.1109/ojia.2021.3074028>
- Lin, Y., Eto, J., Johnson, B., Flicker, J., Lasseter, R., Pico, H. V., Seo, G., Pierre, B., & Ellis, A. (2020). *Research Roadmap on Grid-Forming Inverters*. <https://doi.org/10.2172/1721727>
- Terán, R., Pérez, J., Maldonado, E., & Villalobos-Pina, F. (2023). Proposal of Grid Forming and Grid-Feeding Converter Control for transition of AC Microgrid operating modes. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 23(4), 23–30. <https://doi.org/10.4316/aece.2023.04003>
- Terán, R., Pérez, J., Beristáin, J., & Valle, O. (2022a). Control based on linear matrix inequalities for power converters of an islanded AC microgrid. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 22(3), 61–68. <https://doi.org/10.4316/aece.2022.03007>
- Terán, R., Maldonado, E., Pérez, J., & Beristáin, J. (2022b). Grid-Forming type converter decoupling and resynchronization for an AC microgrid. *2022 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*. <https://doi.org/10.1109/ropec55836.2022.10018617>
- Terán, R., Pérez, J., Beristáin, J., & Hernández, J. (2020). Esquemas de control para una Microrred de Energía Eléctrica de CA. *La Sociedad Académica*, 1(55), 7-12.

https://www.itson.mx/publicaciones/sociedad-academica/Documents/LSA%2055_compressed%20%281%29.pdf

Duffey, C. K., & Stratford, R. P. (1989). Update of harmonic standard IEEE-519: IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 25(6), 1025-1034.

Capítulo 2

Desarrollo de un reemplazo de circuito integrado decodificador de teclados matriciales

Eduardo Romero Aguirre

Darcy Daniela Flores Nieblas

María Lourdes Silva García

Resumen

La materia de Sistemas Digitales es uno de los cursos de la carrera de Ingeniería en Electrónica e Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Sonora, en dicha materia se encargan tareas prácticas como proyectos, prototipos o prácticas que involucran trabajar con teclados matriciales ya que estos permiten realizar no sólo educativos sino proyectos de la vida real, el problema que se presenta es que dichos teclados necesitan utilizar los circuitos integrados (C.I.) decodificadores como el C.I. 74C922 y el C.I. 74C923, sin embargo, estos son escasos o inaccesibles, con un costo elevado. En este trabajo se muestra el desarrollo de un reemplazo de dichos decodificadores por medio de un microcontrolador de gama baja, el cual tiene un bajo costo. En la metodología mostrada, se describen los materiales y herramientas requeridas para su diseño e implementación, el procedimiento a seguir y finalmente se entrega una alternativa funcional para el C.I. 74C922.

Palabras clave: Decodificador, reemplazo, teclado matricial

Introducción

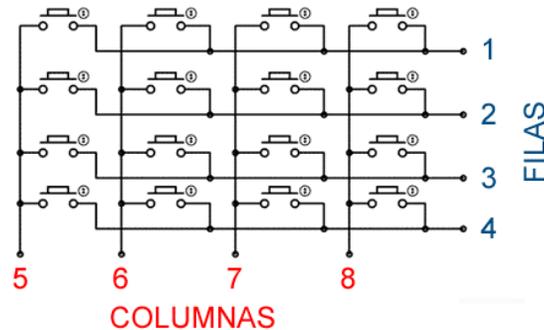
Los sistemas desarrollados con microcontroladores tienen como una de sus principales finalidades el procesamiento de datos. Estos se obtienen de distintas maneras; puede ser de manera automática por medio de sensores que midan los parámetros físicos o de forma manual, en cuyo caso tienen que ser suministrados por los usuarios. Para este último caso se pueden usar los pulsadores y/o interruptores cuando la información es muy simple, y cuando se requiere ingresar un dato numérico, por medio de teclados de mayor o menor complejidad (Tocci et al. 2003).

Un teclado matricial como se indica en la Figura 1, es un tipo de teclado que está constituido por un arreglo de pulsadores colocados en filas y columnas, creando una estructura similar a la de una matriz. La intención es reducir el número de conexiones para

su interconexión. La matriz de contactos está compuesta por filas y columnas, en cada intersección entre una fila y una columna representa una ubicación potencial de una tecla. Esto significa que el teclado matricial de 16 teclas puede ser conectado usando solo 8 líneas de puerto, a diferencia de un lineal donde cada tecla requiere de una línea dedicada.

Figura 1

Teclado matricial



Cuando se presiona una tecla en un teclado matricial, hay una conexión eléctrica entre la columna y el renglón de la tecla. Para determinar qué tecla se ha presionado en un teclado matricial se realiza un escaneo de matriz. Este proceso implica verificar cada fila y columna de la matriz en secuencia y contempla cuál de ellas completa el circuito cuando una tecla se presiona. Si se detecta una tecla presionada mientras se escanea una fila, el microcontrolador registra la posición de la tecla activa. Esto identifica la tecla específica que se ha presionado. Para obtener un valor o código que nos represente qué tecla ha sido presionada y poder mostrarlo en la pantalla, es necesario hacer una decodificación de dicha tecla. Este proceso se realiza mediante el microcontrolador a través de un escaneo de filas y columnas. Sin embargo, existen maneras más sencillas de realizar este trabajo, una de ellas es utilizando circuitos integrados como lo es el CI74C922, éste es muy útil cuando el programa que estamos realizando en el microcontrolador es demasiado extenso como para agregarle la carga de estar monitoreando cuál tecla se está presionando en todo momento. Pero su uso mayor es cuando se diseña un sistema digital de naturaleza No-programable como los que se llevan a cabo en el curso de Sistemas digitales 1.

Objetivo

Desarrollar un decodificador de teclado matricial en un microcontrolador de bajo costo por medio de la metodología presentada con la finalidad de ser usado en las prácticas de

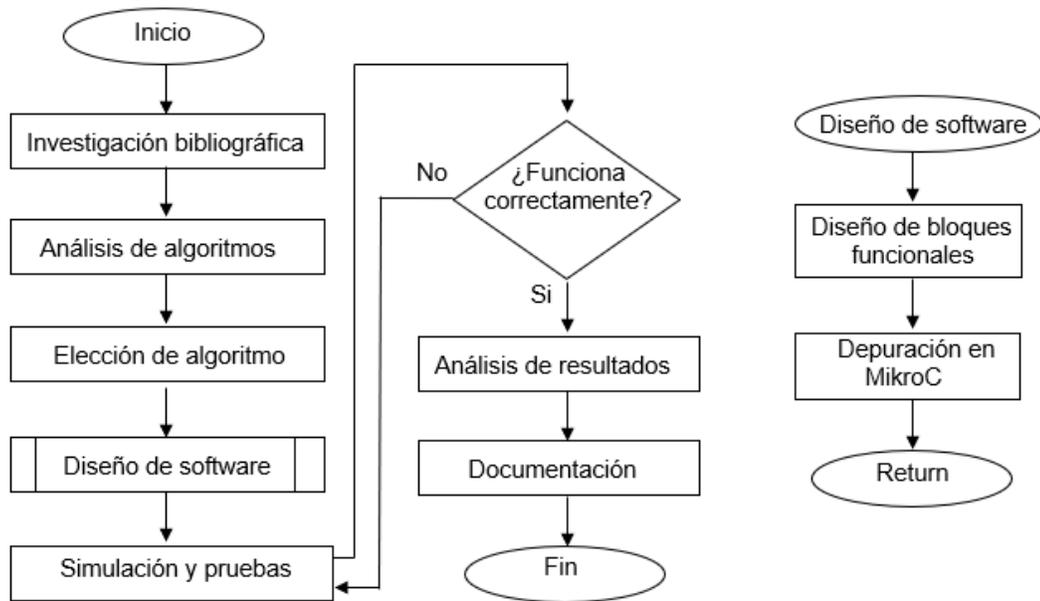
laboratorio, prototipos, y proyectos finales de los alumnos de sistemas digitales 1 de las carreras de Ingeniería mecatrónica y electrónica del plan 2023.

Método

El procedimiento con el que se llevó a cabo el proyecto consta de varias etapas como lo indica la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de flujo de la metodología



Fundamentación teórica

Se realizó una investigación bibliográfica pertinente donde se involucran microcontroladores, teclados matriciales, *displays* de siete segmentos, así como sus especificaciones técnicas vistas en sus hojas de datos.

Teclados

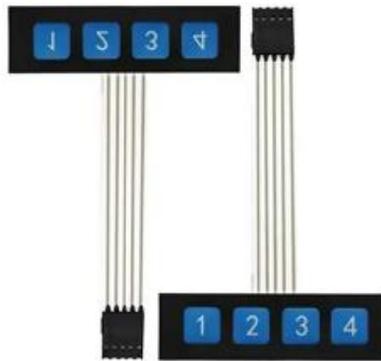
Los teclados son una herramienta útil cuando es necesario ingresar datos alfanuméricos a un sistema, en este caso, un microcontrolador. Estos tienen muchas aplicaciones como, por ejemplo, en los cajeros, controles de acceso, máquinas expendedoras, etc. Los teclados se pueden presentar en forma lineal o matricial.

Teclado lineal

Los teclados lineales son aquellos que tienen una disposición de teclas en forma de línea. Estos teclados tienen la característica de usar una línea de entrada por cada tecla, por lo que se requiere de un elevado número de pines para conectarlo al microcontrolador, en la Figura 3 se visualiza un teclado lineal.

Figura 3

Teclado lineal



Teclado matricial 4x3 y 4x4

Los teclados matriciales son aquellos que tienen una disposición de teclas en forma de matriz. Estos teclados tienen un pin de entrada por cada fila y columna, por lo que se requiere de un número menor de pines para conectarlo al microcontrolador. Los teclados matriciales se pueden encontrar en dos configuraciones: 4x3 y 4x4. La configuración 4x3 tiene 4 filas y 3 columnas, mientras que la configuración 4x4 tiene 4 filas y 4 columnas.

Figura 4

Teclados matriciales



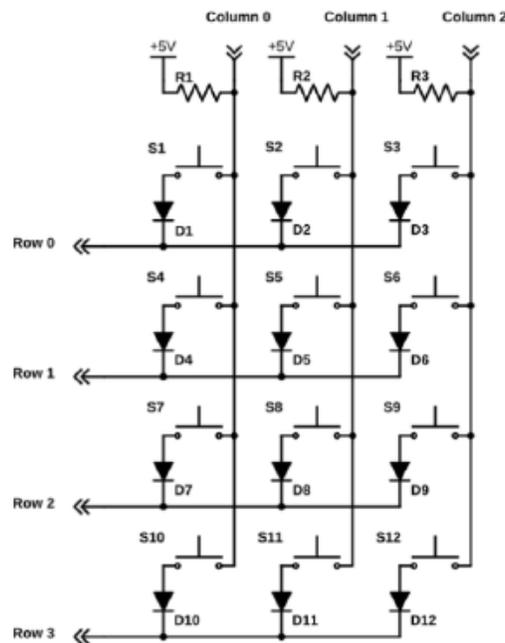
Nota: (a) Teclado matricial 4x3; (b) Teclado matricial 4x4

Teclado matricial con diodos

Dado que los diodos son dispositivos que permiten el paso de corriente en un solo sentido, estos se pueden utilizar para evitar el efecto fantasma en los teclados matriciales. El efecto fantasma es un problema que se presenta en los teclados matriciales cuando se presionan dos o más teclas al mismo tiempo. Esto se debe a que la corriente fluye por las teclas presionadas y por las teclas que no se han presionado, lo que provoca que el microcontrolador no pueda identificar que teclas se han presionado (Instructables, 2021).

Figura 5

Teclado matricial con diodos



En la Figura 5 se observa un teclado matricial con diodos. Gracias a esta configuración se puede evitar el antirrebote y el efecto fantasma. Sin embargo, requiere de una cantidad mayor de componentes, lo que se traduce en un mayor costo. Esto se puede simplificar utilizando un algoritmo de antirrebote (Instructables, 2021).

Microcontroladores

El desarrollo de la industria de computadoras ha sido una trayectoria que ha evolucionado con avances significativos en la tecnología de procesadores. Los microprocesadores se utilizaron en diversas aplicaciones a lo largo del tiempo, desde computadoras personales hasta consolas de juegos. A lo largo de los años, han surgido numerosos microcontroladores en el mercado. Estos avances tecnológicos han sentado las

bases para la proliferación de sistemas informáticos en diversas aplicaciones y han dado forma a la informática tal como la conocemos hoy en día (Mazidi et al., 2008).

El microcontrolador PIC16F628

El PIC16F628 es un microcontrolador de 8 bits de la familia PIC de Microchip. Éste tiene una arquitectura Computador con conjunto de instrucciones reducido (RISC) de 35 instrucciones. El PIC16F628 tiene 224 bytes de memoria RAM, 128 bytes de memoria EEPROM y una capacidad de 2048 palabras de programa. El PIC16F628 tiene 16 pines de entradas y/o salidas digitales, 2 temporizadores, 1 módulo CCP, 1 módulo ADC entre otros componentes (Microchip Technology Inc, 2003).

Características generales del PIC16F628

Algunas de las características generales del PIC16F628 (Microchip Technology Inc, 2003) más relevantes se pueden resumir en:

- Velocidad de operación hasta 20 MHz con oscilador externo.
- Oscilador interno de 4 MHz.
- Admite 8 configuraciones de oscilador.
- 8 niveles de stack
- Conjunto reducido de instrucciones (RISC) de gama media.
- Instrucciones de un ciclo excepto los saltos.
- Resistencias pull-up programables en el puerto B.
- Pin MCLR programable como reset externo o pin de entrada.
- Rango de operación desde 3V hasta 5.5V.
- 15 pines de entrada/salida, solo 1 de entrada (RA5)
- WDT (Watchdog Timer) independiente del oscilador.
- Programación serial en circuito (ICSP) por dos pines: RB6 y RB7.
- Código de protección programable por sectores.
- Memoria de programa FLASH de 2048K de 100.000 ciclos escritura/borrado.
- 2 circuitos comparados análogos con entradas multiplexadas.
- 2 Timers de 8 bits y 1 de 16 bits.
- 1 módulo CCP (Capture/Compare) y un módulo PWM de 10 bits.
- 10 fuentes de interrupción.
- Módulo de comunicación serial USART/SCI.

Algoritmos para teclados matriciales

Los teclados matriciales son una forma económica de tener un gran número de teclas en un espacio reducido. Estos teclados se pueden encontrar en dos configuraciones: 4x3 y 4x4.

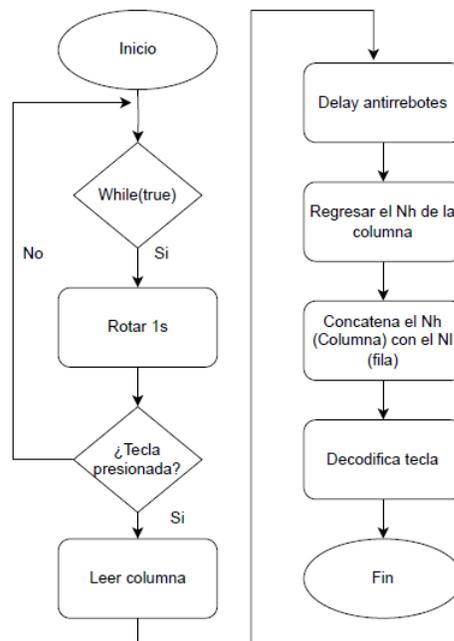
Los teclados matriciales se pueden conectar a un microcontrolador para detectar las teclas presionadas. La detección de teclas se puede realizar por software o por hardware.

Algoritmo Walking Ones

Este método de escaneo de teclado matricial como se indica en la Figura 6, consiste en la rotación de un 1 lógico por el puerto donde se conectan las filas del teclado matricial, al momento en el que se presiona la tecla, se almacena el valor de la columna que ha sido presionada. Dado que el valor de la columna se encuentra en el *nibble* alto y todos los datos provienen de un puerto de 8 bits, se debe realizar un enmascaramiento para obtener solamente el *nibble* donde se encuentra la columna. Posteriormente, se concatenan los valores de las filas y columnas para obtener el valor de la tecla presionada con ayuda del operador OR. Por último, se realiza la decodificación de la tecla presionada.

Figura 6

Algoritmo de teclados matriciales Walking Ones



Detección por software

La detección de teclas por software es un método que consiste en leer el estado de las filas y columnas del teclado matricial. Este método es el más sencillo y se puede implementar en cualquier microcontrolador. El algoritmo para la detección de teclas por software se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Configuración
2. Escaneo de filas
3. Sondeo de filas
4. Retardo antirrebote
5. Identificación de tecla presionada
6. Decodificación de tecla

Detección por hardware (C.I. decodificador 74C922)

Los circuitos integrados decodificadores 74C922 y 74C923 implementan toda la lógica necesaria para conectar un teclado matricial de 16 o 20 teclas con un sistema digital. El circuito integrado escanea continuamente el teclado esperando una pulsación de tecla.

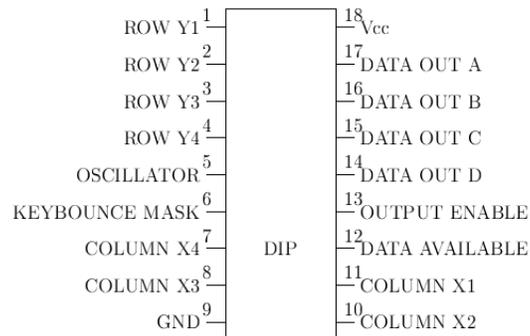
Dos definiciones clave para entender la detección por hardware son el tiempo de rebote, que es el tiempo que el C.I. espera después de que se presiona una tecla antes de que se acepte la tecla y la velocidad de escaneo, la cual es el tiempo que el CI espera antes de escanear el teclado nuevamente.

Cuando se presiona una tecla el decodificador convertirá la tecla presionada en un *nibble* (4 bits) en el caso del C.I. 74C922 y de 5 bits para el C.I. 74C923. El usuario puede definir la velocidad de exploración de teclado como el periodo de supresión de rebotes de tecla al modificar el capacitor del oscilador. (National Semiconductor Corporation, 1993).

El C.I. 74C922 de la Figura 7 tiene un antirrebotes incorporado, el cual requiere de un condensador externo para ajustar la velocidad de exploración del teclado que se conecte al pin 6 (*Keybounce Mask*) para funcionar. El valor del condensador depende del tiempo de antirrebote requerido. Cuando se detecta una pulsación de tecla válida y se agota el tiempo de rebote de la tecla, los datos decodificados se retienen en el puerto de salida y el pin 12 (*Data Available*) se pone en estado alto, este regresa a estado bajo cuando se suelta la tecla presionada. La salida permanece activa en los pines A a D hasta que se detecta una nueva pulsación de tecla.

Figura 7

Circuito integrado decodificador 74C922

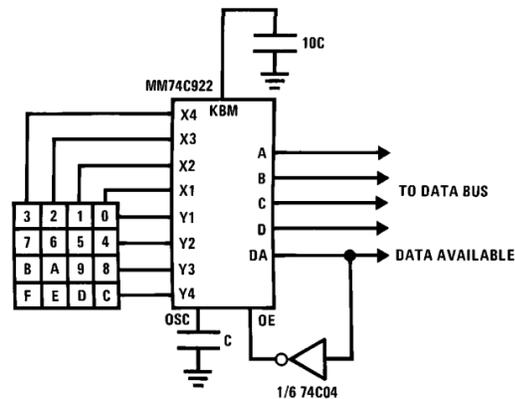


El circuito integrado también tiene la función de reinversión de dos teclas, que ignora cualquier segunda pulsación de tecla durante una pulsación de tecla activa. El tiempo de rebote y la velocidad de escaneo son funciones de los capacitores para el 74C922.

En la Figura 8 se presenta la configuración asíncrona para el CI 74C922, se contempla que el circuito integrado va a tener unas terminales asignadas para conectar las columnas (X) y otros para conectar las filas (Y) del teclado. También, como se mencionó con anterioridad, hay dos capacitores que se deben colocar; un capacitor que corresponde al oscilador con el valor de C, y otro que corresponde al mecanismo antirrebotes con un valor diez veces mayor al del capacitor del oscilador. En las terminales de la A-D se entrega un dato binario, donde A es el bit menos significativo y D es el bit más significativo. También se tiene una terminal que corresponde al DA (dato disponible), cuando se presiona una tecla, el pin DA se cambia a 1 lógico indicando que hay un dato disponible, el cual no desaparecerá hasta que no se deje de presionar la tecla.

Figura 8

Configuración Asíncrona para el CI 74C922



Análisis de la investigación

Realizar un análisis de la información recopilada en la investigación bibliográfica, identificar las características y especificaciones técnicas de los microcontroladores y teclados matriciales, así como también los algoritmos y técnicas de decodificación utilizados en proyectos similares.

Diseño de software

En esta etapa se centra la mayor parte del proyecto, consiste en el diseño y síntesis de software decodificador de teclado matricial.

- Definición de los algoritmos y técnicas de decodificación a utilizar.
- Desarrollo de diagramas de flujo y pseudocódigo de los algoritmos y técnicas de decodificación.
- Diseño de diagrama de bloques.
- Codificación en lenguaje C.
- Depuración y pruebas en MikroC.

Análisis de resultados

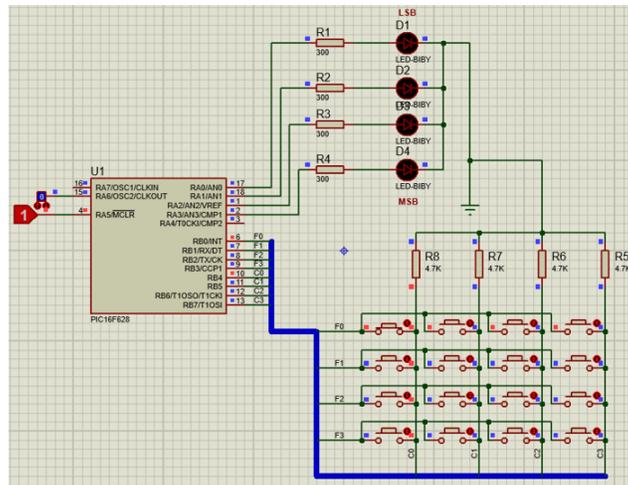
Evaluación del rendimiento del decodificador de teclado matricial en diferentes escenarios y condiciones. Identificación de posibles mejoras o ajustes.

Documentación

Realizar la redacción detallada del proyecto para facilitar su comprensión y mantenimiento. Elaboración de manuales de usuario y hoja técnica, así como también diagramas de la asignación de pines.

Figura 10

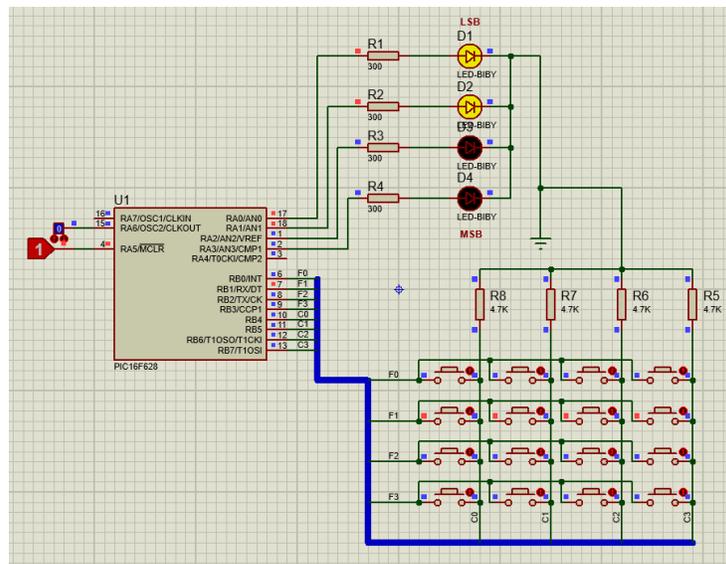
Simulación del circuito con el algoritmo Walking Ones con tecla 1 presionada



En la Figura 11 se visualiza el resultado de la simulación del circuito con el algoritmo *Walking Ones* con la tecla 2 presionada, la cual tiene la posición 1 en el teclado matricial, el valor lógico obtenido en la salida es 0x04, el cual es el valor esperado para la tecla 2, además de que el bit RA6 se encuentra en 0, lo cual nos indica que se ha presionado la tecla 2.

Figura 11

Simulación del circuito con el algoritmo Walking Ones con tecla 2 presionada



Como se pudo contemplar en las simulaciones de las Figuras 9, 10 y 11, obtiene un 0x00 hexadecimal al presionar 1, por lo que se implementó un mecanismo para detectar si se trata de un 1 presionado o una tecla sin presionar. Para ello, al momento de no tener ninguna tecla presionada, el bit RA6 está activo mientras ninguna tecla sea presionada, cuando alguna tecla se presiona, el bit RA6 se pone en 0.

En la Tabla 1, se visualiza el valor lógico obtenido en la salida y el valor de la tecla presionada, siendo el A el bit menos significativo y el D el bit más significativo, obtenidos a través de la simulación del circuito con el algoritmo *Walking Ones*.

Tabla 1

Tabla de verdad obtenida del algoritmo walking ones

Tecla	D	C	B	A	Valor Hex
1	0	0	0	0	0X00
2	0	0	1	1	0X03
3	0	0	1	0	0X02
4	0	1	0	0	0X04
5	0	1	1	1	0X07
6	0	1	1	0	0X06
7	1	0	0	0	0X08
8	1	0	1	1	0X0B

Tecla	D	C	B	A	Valor Hex
9	1	0	1	0	0X0A
0	1	1	1	1	0X0F
A	0	0	0	1	0X01
B	0	1	0	1	0X05
C	1	0	0	1	0X09
D	1	1	0	1	0X0D
*	1	1	0	0	0X0C
#	1	1	1	0	0X0E

Discusión

El presente trabajo cumplió su objetivo al desarrollar una alternativa para el CI74C922, el cual es un decodificador de teclados matriciales 4x4. A lo largo de este trabajo se estudió el comportamiento de este circuito integrado para replicar su funcionamiento de la manera más precisa posible.

Si bien existen proyectos similares como el de la compañía TECmikro o geekfactory, entre otros, estos involucran microcontroladores no disponibles en el laboratorio de ITSON, lo que implicaría un gasto extra para los estudiantes, a su vez, tienen salidas a *display* de cristal líquido (LCD) y esto hace que dejen de ser un reemplazo para el CI74C922.

Se obtuvo una tabla con los valores obtenidos con la decodificación de teclas, la cual coincide con los valores que se obtienen con el uso del circuito integrado en cuestión, esta congruencia entre los valores obtenidos en la decodificación de teclas mediante el decodificador desarrollado por medio de un PIC de gama baja, y los valores proporcionados

por el CI74C922 indica que la alternativa desarrollada ha cumplido con éxito los objetivos planteados al inicio del proyecto de investigación.

Además, se señala que existen ventajas significativas en esta alternativa en comparación con el circuito integrado original. El C.I.74C922 requiere de dos capacitores para funcionar: uno para controlar el antirrebote y otro para controlar la frecuencia del oscilador. Sin embargo, la alternativa propuesta y desarrollada en este trabajo se basó únicamente en la solución por software, lo que permite optimizar los componentes y las conexiones necesarias para la implementación física del decodificador, lo cual facilita la implementación y el costo.

En general, el trabajo realizado representa una contribución valiosa no sólo para la comunidad estudiantil que curse la materia de Sistemas Digitales I, sino también para cualquier persona interesada en desarrollar proyectos con teclados matriciales de naturaleza No-programable.

Referencias

- Floyd, T. L. (2016). *Fundamentos de sistemas digitales*. Decimoprimer ed. Pearson Educación.
- García, E. (2008) *Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores PIC*. Primera ed. Alfaomega.
- Geekfactory. (2013). *Teclado matricial con PIC*. <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-pic/teclado-matricial-con-pic/>.
- RodrigoFR (2021) *Convertir un teclado muerto a un teclado MIDI*. Instructables. Consultada el 5 de mayo de 2024. <https://www.instructables.com/Convertir-Un-Teclado-Muerto-a-Un-Teclado-MIDI/>
- Mano, M. M., Ciletti, M. D. (2013). *Diseño Digital*. Quinta ed. Peason Educación de México.
- Mazidi, M. A., McKinlay, R. D., & Causey, D. (2008). *PIC Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C for PIC18*. Primera ed. Prentice Hall.
- Microchip Technology Inc (2003). *PIC16F62X flash-based 8-bit CMOS MCU data sheet*. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40300c.pdf> Consultada el 5 de mayo de 2024.
- National Semiconductor Corporation (1993). *MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder. MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder*. https://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/228/243043_DS.pdf
- Tecmikro. (2024). *Teclado matricial 4x4 con PIC*. <https://tecmikro.com/content/74-teclado-matricial-4x4-pic>. Consultada el 5 de mayo de 2024.
- Tocci, R. J., Widmer, N. S., Moss, G. L. (2017) *Sistemas digitales: principios y aplicaciones*. Decimoprimer ed. Prentice Hall.
- Verle, M. (2009). *PIC Microcontrollers-Programming in C*. Primera ed. MikroElektronika.
- Palacios, E., Remiro F. López, L. (2014). *Microcontrolador PIC16F84: desarrollo de proyectos*. Tercera ed. RA-MA Editorial.

Capítulo 3

Análisis del flujo de potencia entre dos bancos de baterías con diferentes niveles de tensión utilizando un convertidor CD-CD bidireccional

José Antonio Beristáin Jiménez

Omar Ernesto Oroz Gartner

Javier Pérez Ramírez

Obed Abraham Valle López

Resumen

Las fuentes de energías renovables incrementan su efectividad cuando están integradas en una microrred de corriente directa (CD). Como parte de la formación de los alumnos de la carrera de ingeniero en electrónica se ha propuesto una materia optativa que aborda el tema de las microrredes de CD con el fin de cubrir de forma más extensa el tema de la integración de las energías renovables. Uno de los elementos fundamentales en las microrredes de CD es el convertidor CD-CD bidireccional que, por lo general, se encarga de realizar la carga del banco de baterías de respaldo y también de hacer la función de formador de bus de CD en modo isla, es decir, cuando hay ausencia de la red eléctrica principal. En este trabajo se realiza el análisis de la transferencia de potencia del convertidor CD-CD bidireccional considerando dos bancos de baterías como fuentes de alimentación. Se realiza el modelado matemático del sistema y se realizan simulaciones utilizando el software Psim para validar el análisis presentado. Se muestra la comparación entre los resultados de simulación del circuito y del modelo estático para diferentes puntos de operación que demuestran el flujo de potencia bidireccional en función del ciclo de trabajo, con lo cual se valida el análisis presentado.

Palabras clave: Microrred de CD, convertidor CD-CD bidireccional, baterías

Introducción

La carrera de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora tiene como una de sus competencias específicas la de diseñar sistemas de alimentación de energía eléctrica basados en energías renovables, alcanzar dicha competencia, el plan de estudios de la carrera contempla las materias de electrónica de potencia y sistemas de energías renovables donde la componente de circuitos electrónicos como interfaces de potencia toma un rol fundamental (ITSON, 2024). El curso de sistemas de energías renovables cubre el tema de sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica e interconectados a la red eléctrica sin la presencia de sistemas de almacenamiento de energía como lo son los bancos de baterías. Una forma de incluir el tema del almacenamiento de energía eléctrica

es a través de una materia de optativa con el tema de microrredes eléctricas tanto de corriente directa (CD) como de corriente alterna (CA) donde el almacenamiento de energía es fundamental para el funcionamiento del sistema y mejorar la utilización de las energías renovables (Pires, 2023). Las microrredes de CD tienen la característica que las señales de voltaje son del mismo tipo que los sistemas de almacenamiento por baterías, los sistemas de generación solar fotovoltaica y que las cargas electrónicas, por lo que son una tecnología atractiva para incrementar la eficiencia, fiabilidad de los sistemas de alimentación (Rangarajan, 2023). En microrredes de CD, la transferencia de energía entre buses de voltaje de CD de forma bidireccional es una función necesaria en la cual se utilizan circuitos de electrónica de potencia que tengan la capacidad de flujo de potencia bidireccional. En este trabajo, se realizará el análisis del flujo de potencia del convertidor CD-CD bidireccional basado en el modelo de circuito (Duan, 2023) (Beristáin Jiménez & Pérez Ramírez, 2017).

Objetivo

Analizar el flujo de potencia de un convertidor CD-CD bidireccional, mediante simulación, en el software de simulación Psim basado en el modelo estático, con el propósito de establecer un modelo que permita sintonizar un control de flujo de potencia bidireccional.

Método

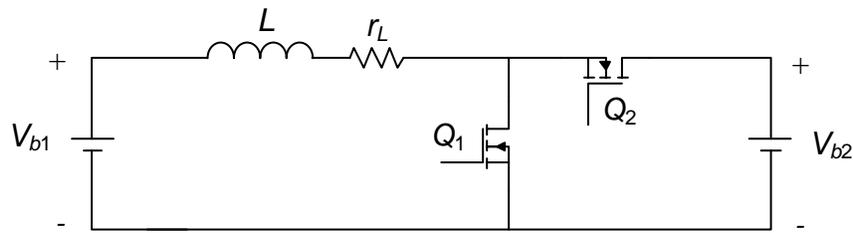
El método empleado en este trabajo se basa en realizar el modelado matemático del convertidor CD-CD bidireccional, iniciando por el modelo conmutado que representa de forma exacta el comportamiento del circuito, continuando con el modelo promediado que elimina el rizo de alta frecuencia de las corrientes y los voltajes en el circuito y finalizando con el modelo estático que corresponde al punto de operación del convertidor bidireccional. Una vez obtenidas las ecuaciones que definen los modelos del circuito, se proponen datos de simulación para una aplicación donde se requiere transferir potencia en ambas direcciones. Se realizan los cálculos del punto de operación y se realiza la validación mediante simulación. El análisis de resultados de simulación se centrará en el estado estable utilizando el modelo estático y será comparado con los resultados de simulación del circuito.

Desarrollo

El convertidor CD-CD bidireccional se muestra en la Figura 1. El diagrama de circuito muestra dos buses de voltaje V_{b1} y V_{b2} , dos transistores Mosfet de canal N de tipo enriquecimiento, Q_1 y Q_2 , un inductor L en el cual se incluye la resistencia parásita del inductor r_L . En este circuito se considera que el bus de voltaje V_{b2} es de mayor tensión que el bus de voltaje V_{b1} .

Figura 1

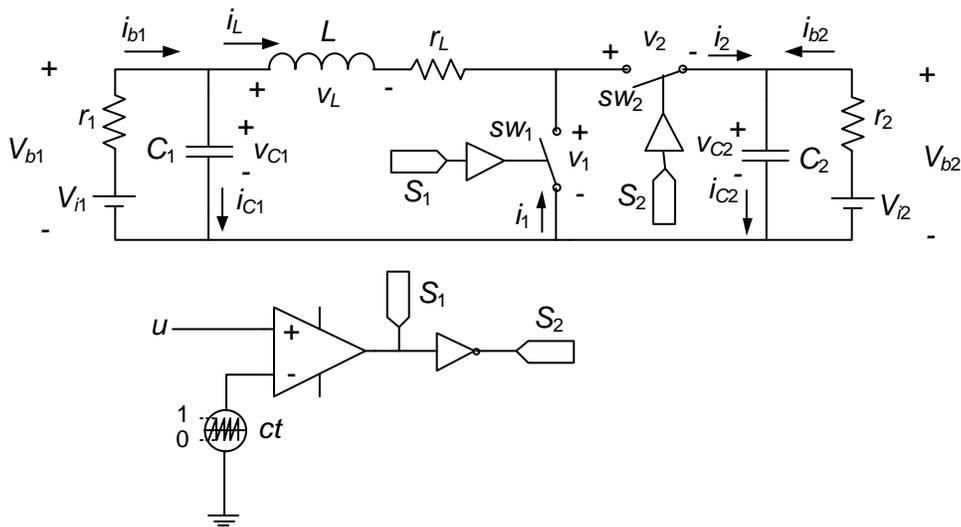
Diagrama de circuito del convertidor CD-CD bidireccional



La Figura 2 muestra el diagrama de circuito equivalente utilizando interruptores con el fin de modelar el comportamiento del convertidor bidireccional. Se utilizan interruptores en lugar de los transistores de potencia. Asimismo, se modelan los buses de CD como fuentes de tensión ideales con una resistencia de salida. Se incluyen filtros capacitivos en paralelo con los buses de CD con el fin de reducir los rizados de voltaje. Se definen las polaridades de los voltajes y las direcciones de las corrientes en el circuito. Se utiliza un modulador por anchura de pulso (PWM por sus siglas en inglés) para generar las señales de conmutación de los interruptores. En el análisis se consideran elementos de conmutación ideales por lo que no se incluye el tiempo de blanqueo en la conmutación de los interruptores.

Figura 2

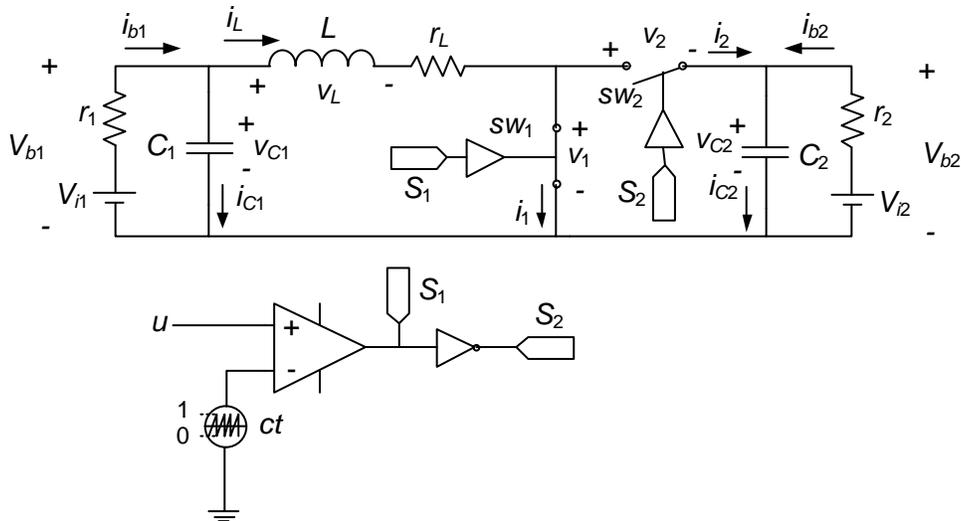
Diagrama de circuito equivalente utilizando interruptores



Se tienen dos estados de conmutación, cuando $S_1=1$, entonces $S_2=0$ y cuando $S_2=1$, entonces $S_1=0$. En el primer estado de conmutación se tiene el circuito equivalente de la Figura 3.

Figura 3

Diagrama de circuito equivalente cuando $S_1=1$ y $S_2=0$



$$i_1 = i_L \quad (1)$$

$$i_2 = 0 \quad (2)$$

$$v_1 = 0 \quad (3)$$

$$v_2 = -v_{C2} \quad (4)$$

En el segundo estado de conmutación el interruptor s_{w1} está abierto y el interruptor s_{w2} está cerrado. La Figura 4 muestra el diagrama de circuito equivalente durante este estado de conmutación.

Durante este estado de conmutación se tienen los siguientes voltajes y corrientes en los elementos de conmutación.

$$i_1 = 0 \quad (5)$$

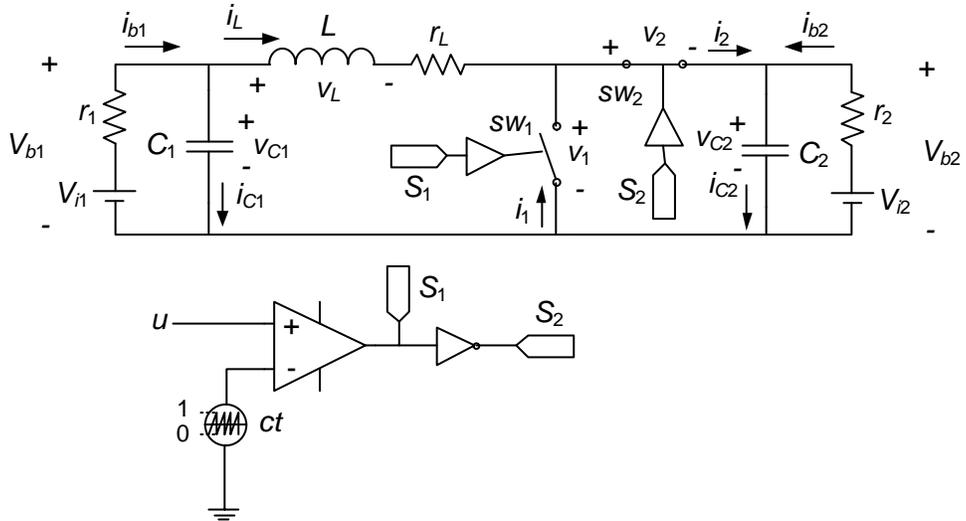
$$i_2 = i_L \quad (6)$$

$$v_1 = v_{C2} \quad (7)$$

$$v_2 = 0 \quad (8)$$

Figura 4

Diagrama de circuito equivalente cuando s_{w1} está abierto y s_{w2} está cerrado



La Tabla 1 muestra un resumen de los voltajes y corriente en los elementos de conmutación en ambos estados.

Tabla 1

Voltajes y corrientes en los elementos de conmutación

S_1	S_2	i_1	i_2	v_1	v_2
1	0	i_L	0	0	$-v_{C2}$
0	1	0	i_L	v_{C2}	0

A partir de la Tabla 1, se escriben ecuaciones que definen los voltajes y corrientes en los interruptores utilizando funciones de conmutación.

$$i_1 = S_1 i_L \quad (9)$$

$$i_2 = S_2 i_L \quad (10)$$

$$v_1 = S_2 v_{C2} \quad (11)$$

$$v_2 = -S_1 v_{C2} \quad (12)$$

En la Tabla 1 se observa que se cumple que $S_1 + S_2 = 1$ por lo que (10) y (11) también quedan en función de S_1 .

$$i_2 = (1 - S_1) i_L \quad (13)$$

$$v_1 = (1 - S_1) v_{C2} \quad (14)$$

El modelo se obtiene realizando el análisis de circuitos en la figura 2. Para el capacitor de entrada se tiene:

$$i_{C1} = -i_L + i_{b1} \quad (15)$$

De (15), la dinámica del voltaje en el capacitor queda como:

$$\frac{dv_{C1}}{dt} = \frac{1}{C_1} \left[-i_L - \frac{v_{C1}}{r_1} + \frac{V_{f1}}{r_1} \right] \quad (16)$$

Para la corriente en el capacitor C_2 .

$$i_{C2} = i_2 - i_{b2} \quad (17)$$

Sustituyendo (13) en (17), la dinámica del voltaje en el capacitor C_2 queda como:

$$\frac{dv_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} \left[(1 - S_1) i_L + \frac{v_{C2}}{r_2} - \frac{V_{i2}}{r_2} \right] \quad (18)$$

El voltaje en el inductor es:

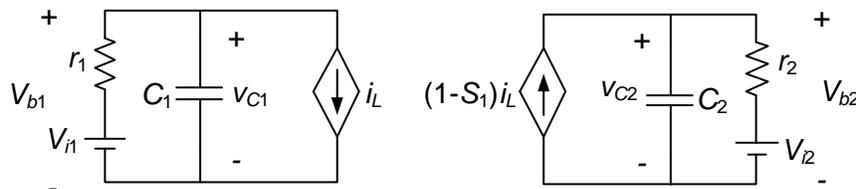
$$v_L = v_{C1} - i_L r_L - v_1 \quad (19)$$

Considerando (14), la dinámica de la corriente en el inductor queda como:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} \left[-i_L r_L + v_{C1} - (1 - S_1) v_{C2} \right] \quad (20)$$

Figura 5

Diagrama de circuito equivalente del sistema



Las ecuaciones (16), (18) y (20) corresponden al modelo conmutado. La Figura 5 muestra un diagrama equivalente del sistema basado en el modelo conmutado.

El modelo promediado se obtiene al promediar la función de conmutación S_1 . Con $ct \in [0,1]$ y $u \in [0,1]$, el promediado de la función de conmutación es: $\tilde{S}_1 = u$. El modelo promediado es:

$$f_1 = \frac{d\tilde{v}_{C1}}{dt} = \frac{1}{C_1} \left[-\tilde{i}_L - \frac{\tilde{v}_{C1}}{r_1} + \frac{V_{i1}}{r_1} \right] \quad (21)$$

$$f_2 = \frac{d\tilde{v}_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} \left[(1-u)\tilde{i}_L + \frac{\tilde{v}_{C2}}{r_2} - \frac{V_{i2}}{r_2} \right] \quad (22)$$

$$f_3 = \frac{d\tilde{i}_L}{dt} = \frac{1}{L} \left[-\tilde{i}_L r_L + \tilde{v}_{C1} - (1-u)\tilde{v}_{C2} \right] \quad (23)$$

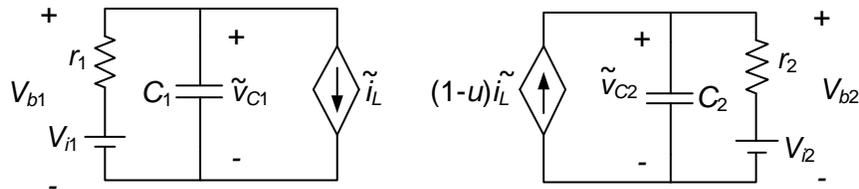
La corriente i_2 del modelo promediado es:

$$\tilde{i}_2 = (1-u)\tilde{i}_L \quad (24)$$

El diagrama de circuito equivalente del modelo promediado se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Diagrama de circuito equivalente utilizando el modelo promediado



El modelo estático se obtiene al excitar el modelo promediado con $u=D$ y en estado estable se alcanza: $\lim_{t \rightarrow \infty} f_1 = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} f_2 = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} f_3 = 0$, $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{v}_{C1} = V_{C1}$, $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{v}_{C2} = V_{C2}$,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{i}_L = I_L, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{i}_2 = I_2.$$

$$0 = -I_L - \frac{V_{C1}}{r_1} + \frac{V_{i1}}{r_1} \quad (25)$$

$$0 = (1-D)I_L + \frac{V_{C2}}{r_2} - \frac{V_{i2}}{r_2} \quad (26)$$

$$0 = -I_L r_L + V_{C1} - (1-D)V_{C2} \quad (27)$$

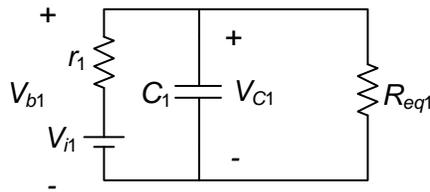
La corriente i_2 del modelo estático es:

$$I_2 = (1-D)I_L \quad (28)$$

Si la transferencia de potencia es de la fuente V_{b1} a la fuente V_{b2} , el circuito equivalente es como el de la Figura 7.

Figura 7

Circuito equivalente para la transferencia de potencia de la fuente V_{b1} a la fuente V_{b2} .



En la Figura 7, la resistencia equivalente que ve la fuente V_{b1} es:

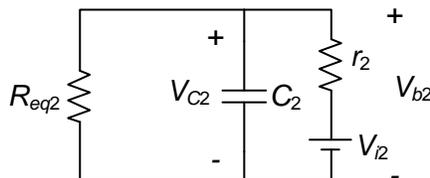
$$R_{eq1} = (1-D)^2 R_{b2} \quad (29)$$

donde:

$$R_{b2} = \frac{V_{C2}}{(1-D)I_L} \quad (30)$$

Figura 8

Circuito equivalente para la transferencia de potencia de la fuente V_{b2} a la fuente V_{b1} .



Si la transferencia de potencia se realiza de la fuente V_{b2} a la fuente V_{b1} el circuito equivalente es como el de la Figura 8.

La resistencia equivalente vista por la fuente V_{b2} es:

$$R_{eq2} = \frac{R_{b1}}{(1-D)^2} + \frac{r_L}{(1-D)} \quad (31)$$

donde:

$$R_{b1} = -\frac{V_{C1}}{I_L}. \quad (32)$$

De (27) el valor del ciclo de trabajo, D , se calcula como:

$$D = \frac{V_{C2} - V_{C1} + I_L r_L}{V_{C2}} \quad (33)$$

Resultado

La Tabla 2 muestra los elementos de circuito para realizar la simulación del convertidor CD-CD bidireccional.

Tabla 2

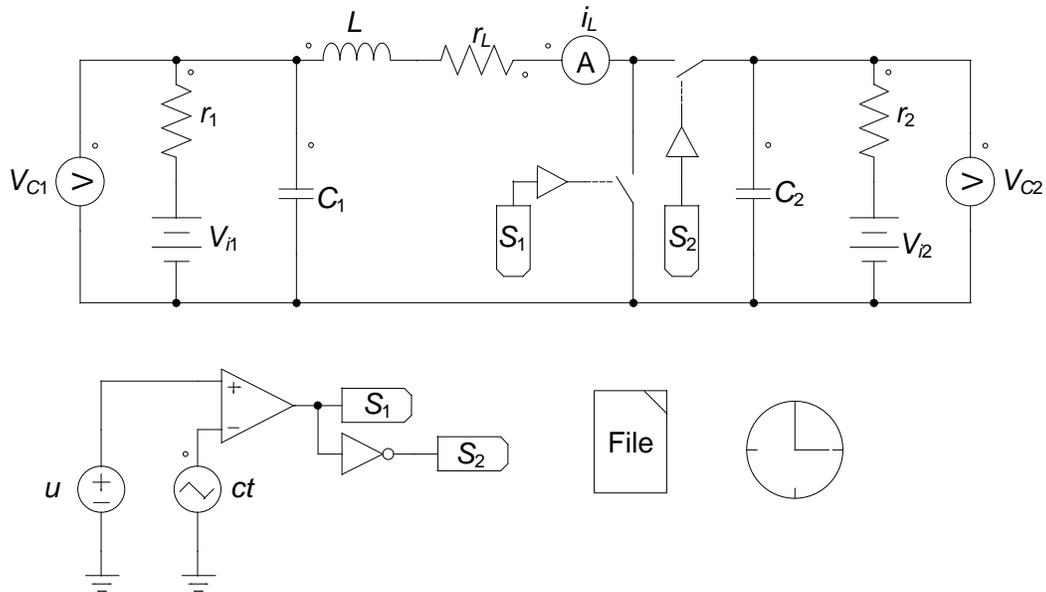
Valores de los elementos de circuito

Elemento	Valor
V_{i1}	12 V
V_{i2}	24 V
r_1	0.5 Ω
r_2	0.1 Ω
C_1	82 μ F
C_2	120 μ F
L	120 μ H

Se realiza la simulación del circuito en Psim, el cual se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Diagrama de circuito en Psim para la simulación del convertidor CD-CD bidireccional



Se utiliza como parámetro de entrada, el valor de corriente $I_L = 2$ A. La frecuencia de conmutación se establece en $f_s = 20$ kHz. La Tabla 3 muestra los puntos de operación calculados.

Tabla 3

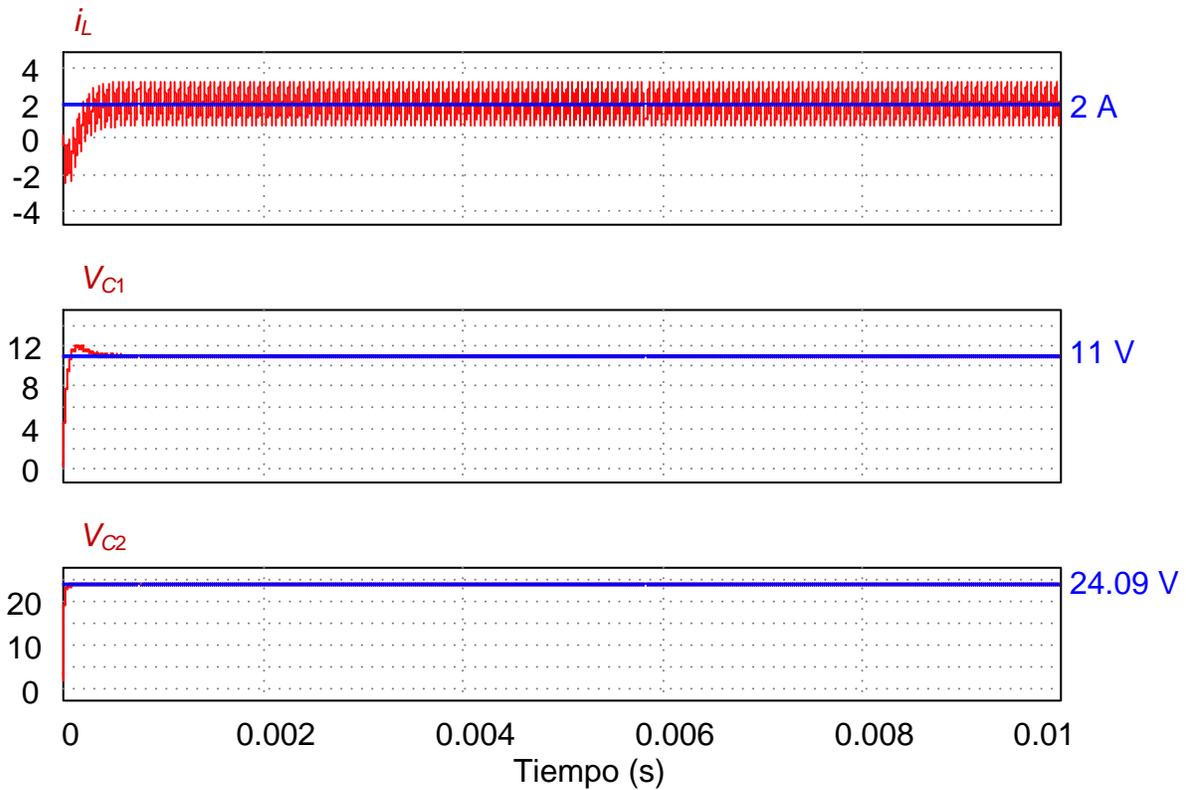
Parámetros calculados para la simulación con $I_L = 2$ A

Parámetro	Valor
V_{C1}	11 V
V_{C2}	24.0996 V
$u = D$	0.5851

La Figura 10 muestra el resultado de simulación en donde se validan los puntos de operación calculados con el modelo estático para la transferencia de potencia del banco de baterías asociado a V_{b1} al banco de baterías asociado a V_{b2} .

Figura 10

Forma de onda del circuito y del modelo estático



Se realiza una segunda simulación para el caso en el que no hay transferencia de potencia entre los bancos de baterías. La Tabla 4 muestra los valores calculados del modelo estático.

Tabla 4

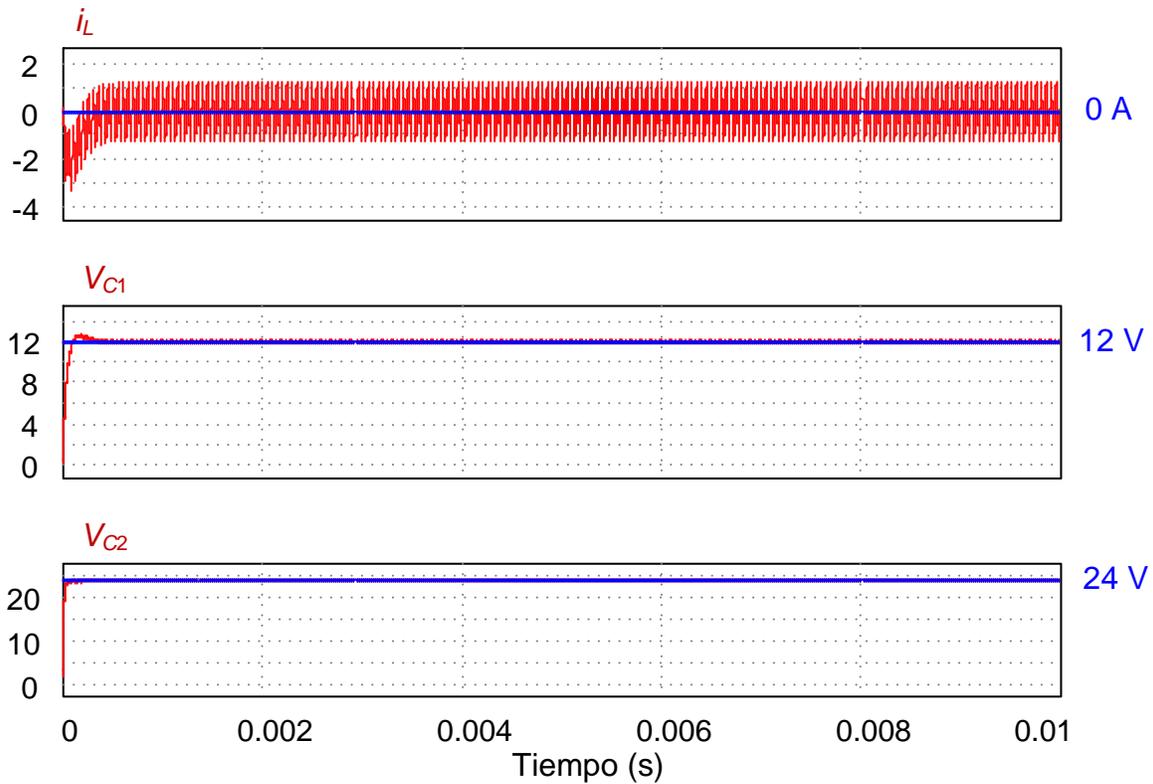
Parámetros calculados para la simulación con $I_L = 0 A$

Parámetro	Valor
V_{C1}	12 V
V_{C2}	24 V
$u = D$	0.5

La Figura 11 muestra las formas de onda resultantes para este punto de operación.

Figura 11

Formas de onda del circuito y del modelo estático para $I_L = 0$ A



Finalmente, se realiza una simulación para transferir potencia de la fuente asociada a V_{b2} a la fuente asociada a V_{b1} . Se establece como parámetro de entrada una corriente $I_L = -2$ A. La Tabla 5 muestra los parámetros calculados con el modelo estático.

Tabla 5

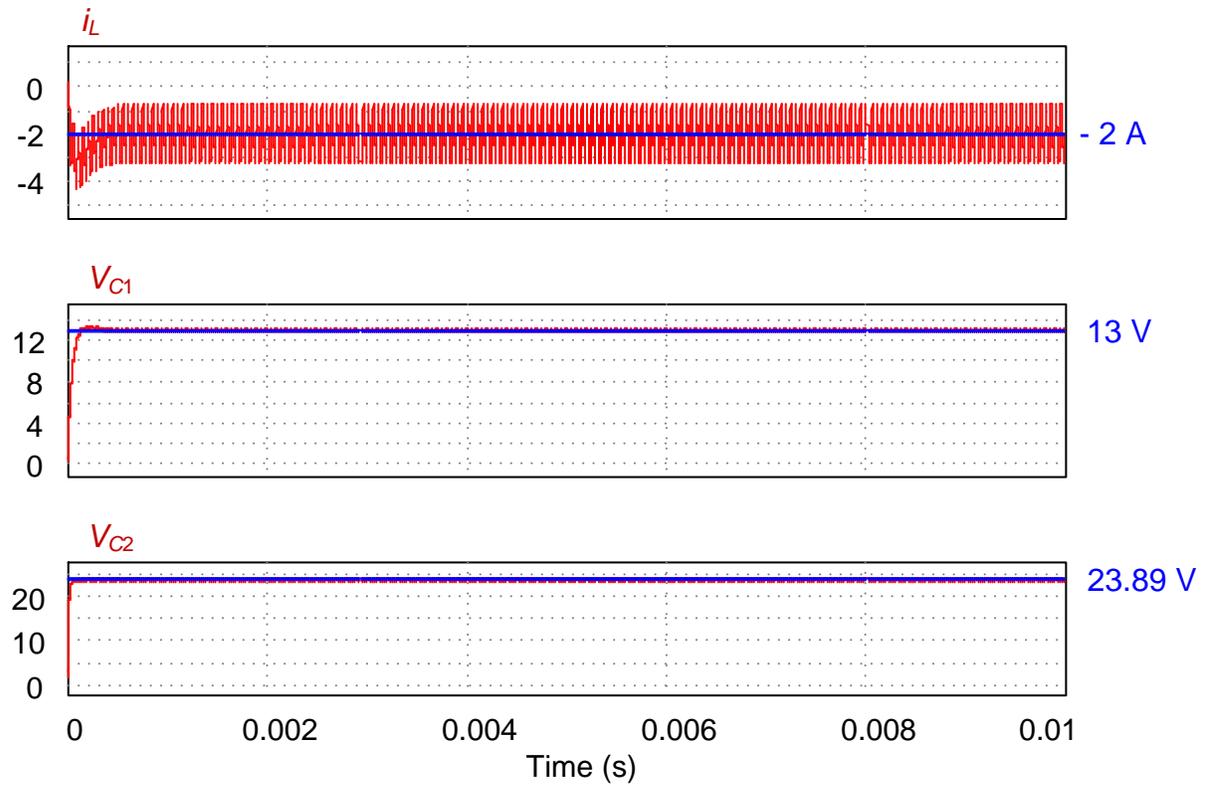
Parámetros calculados para la simulación con $I_L = -2$ A

Parámetro	Valor
V_{C1}	13 V
V_{C2}	23.8996 V
$u = D$	0.4142

La Figura 12 muestra el resultado de simulación para este punto de operación. Se observa que la corriente promedio se establece en $I_L = -2$ A y los voltajes obtenidos coinciden con los calculados del modelo estático.

Figura 12

Formas de onda de corriente y voltaje en el circuito y del modelo estático



La Tabla 6 muestra un resumen de la potencia transferida vista por la fuente de voltaje V_{b1} y el ciclo de trabajo necesario.

Tabla 6

Ciclo de trabajo necesario para la transferencia de potencia

I_L (A)	P_1 (W)	D
2	22	0.5851
1.5	16.87	0.5639
1	11.5	0.5426
0.5	5.87	0.5213
0	0	0.5
-0.5	-6.12	0.4786
-1	-12.5	0.4572

-1.5	-19.12	0.4357
-2	-26	0.4142

Discusión

En este trabajo se muestra el análisis de la transferencia de potencia entre dos bancos de baterías en el entorno de una microrred de CD. Se realiza la comparación de la simulación del circuito y del modelo estático en el punto de operación determinado por la cantidad de potencia transferida entre ambas fuentes de voltaje. Se observa la capacidad del convertidor para realizar la transferencia de potencia de forma bidireccional mediante la variación del ciclo de trabajo D ; para valores menores a un ciclo de trabajo de 0.5 el flujo de potencia se realiza de la fuente V_{b2} a la fuente V_{b1} , para valores mayores a 0.5 del ciclo de trabajo, la transferencia de potencia se realiza de la fuente V_{b1} a la fuente V_{b2} y para un ciclo de trabajo de 0.5 no hay transferencia de potencia. El modelo estático corresponde con los resultados obtenidos en la simulación del circuito lo que permite conocer el comportamiento del circuito dentro de una microrred de CD, la cual, por naturaleza es un sistema complejo.

A partir de este trabajo, se realizará el control para realizar la función de la transferencia de potencia entre dos bancos de baterías para posteriormente integrar el circuito a una microrred de CD.

Referencias

- Beristáin Jiménez, J. A., & Pérez Ramírez, J. (2017). *Electrónica de Potencia: de la teoría a la experimentación*. Pearson.
- Duan, J. W. (2023). Variable Multiple Interleaved Bi-Directional DC/DC Converter with Current Ripple Optimization. *Applied sciences*, 1744.
- Instituto Tecnológico de Sonora (S.f.). *Ingeniería en Electrónica*. ITSON. Consultado el 27 de Mayo de 2024 en: <https://www.itson.mx/oferta/ie/Paginas/plan-de-estudio.aspx>
- Pires, V. F. (2023). DC Microgrids: Benefits, Architectures, Perspectives and Challenges. *Energies*, 1217.
- Rangarajan, S. S. (2023). DC microgrids: A propitious smart grid paradigm for smart cities. *Smart Cities*, 1690-1718.

Capítulo 4

Desplazamiento en rutas preprogramadas para robots móviles autónomos orientado por GPS

Adolfo Espinoza Ruiz

Érica Cecilia Ruiz Ibarra

Joaquín Mass Sánchez

Rafael Alfonso Figueroa Díaz

Resumen

En este trabajo se desarrolla un módulo especializado para control de robots móviles orientados por GPS y otros sensores. Se enfoca en el desplazamiento terrestre preciso a lo largo de rutas preprogramadas y respaldado por la integración de comunicación inalámbrica para corto (Bluetooth) y largo alcance (LoRa). Al disponer de comunicación inalámbrica, es posible cambiar fácilmente la lista de puntos geográficos que definen la ruta programada y en esta forma se tiene gran flexibilidad para programar la aplicación que realizará el módulo. Este módulo implica la integración de varias tecnologías que abarcan aspectos tecnológicos, algorítmicos y prácticos. El módulo de control es una herramienta fundamental para mejorar la autonomía y eficiencia de los robots móviles en diversas aplicaciones, como logística automatizada, vigilancia, agricultura automatizada, acuicultura y exploración de entornos hostiles (Sanguino, 2017). Para la validación, se implementó un prototipo a pequeña escala (30 cm de largo) controlado por un módulo Arduino UNO, usando sensores de bajo costo (GPS y magnetómetros) y control de motores por PWM, por lo que fácilmente se puede escalar el modelo a robots móviles de mayor tamaño. Los resultados obtenidos reflejaron la efectividad del sistema en términos de seguimiento preciso de rutas predefinidas, tanto en trayectos de ida como de regreso, así como en las pruebas de repetitividad cíclica de la misma ruta, en donde se vio que no se presentaba error acumulativo, el cual es frecuente en sistemas con rutas programables de lazo abierto. Se ha demostrado que el móvil es capaz de seguir los puntos de ruta con una alta tasa de éxito, manteniendo un margen de error mínimo dentro de los límites establecidos. Este logro resalta la viabilidad del enfoque adoptado y su potencial aplicación en entornos reales.

Palabras clave: Robot móviles, GPS, magnetómetro, robot autónomo, LoRa

Introducción

En los últimos años, la robótica móvil ha experimentado un crecimiento significativo debido a avances no solo por la aparición de microcontroladores de gran capacidad, reducido tamaño y bajo costo, sino también por el mejoramiento de tecnologías de sensores, algoritmos de control y sistemas de comunicación inalámbrica.

Los avances tecnológicos actuales han dado lugar a una variedad de tecnologías de navegación que se han vuelto fundamentales en el desarrollo de sistemas robóticos

autónomos. Entre estas tecnologías destacan el sistema de posicionamiento global (GPS), acelerómetros, magnetómetros, sensores de proximidad, etc. La integración de estas tecnologías con microcontroladores ha abierto nuevas posibilidades para abordar los desafíos de la movilidad autónoma de robots, que se desempeñen satisfactoriamente en diversas aplicaciones, como la logística automatizada, la vigilancia y la exploración de entornos hostiles (Guerrero, C, et al 2014).

Por otra parte, la aparición de tecnologías de comunicación como LoRa, ha abierto nuevas posibilidades para la conectividad a larga distancia, superando las limitaciones de otras tecnologías inalámbricas. La combinación de LoRa y otras tecnologías de comunicación como Bluetooth, ofrecen una solución integral para la comunicación sin la necesidad de que los dispositivos estén conectados a internet, permitiendo una conectividad flexible según las necesidades específicas de la tarea.

A pesar de estos avances, la navegación precisa y eficiente de robots móviles a lo largo de rutas preprogramadas sigue siendo un desafío. La complejidad de entornos cambiantes, la presencia de obstáculos inesperados y la necesidad de adaptarse en tiempo real requieren soluciones específicas. Además, la comunicación inalámbrica juega un papel crucial en la operación autónoma, especialmente en entornos extensos o áreas remotas.

Objetivo

Desarrollar un módulo de control para guiar el desplazamiento de unidades móviles autónomas a través de rutas predefinidas por una lista de coordenadas geográficas (latitud y longitud), integrando diversas tecnologías como microcontroladores, GPS, magnetómetro, potencia, algoritmos de control, telecomunicaciones y programación; con el fin lograr una unidad completamente autónoma y funcional en aplicaciones que requieran movilidad para la realización de sus tareas.

Método

Este trabajo fue desarrollado por el cuerpo académico de redes y sistemas colaborativos a partir de la solicitud de una empresa fabricante de equipo acuícola quién planteó la necesidad de fabricar lanchas autónomas para alimentar peces en estanques automáticamente. Esto aunado a las necesidades expresadas anteriormente por agricultores que requieren sistemas autónomos para fumigación y fertilización automática más económicas que la realizada comúnmente por drones, originó la idea de crear un módulo adaptable a equipos móviles de diversas aplicaciones.

La Figura 1 presenta la metodología utilizada en este trabajo, la cual se basa en el método de ingeniería (Koen, 2003) la cual consistió en tres etapas: Diseño, Implementación y Pruebas.

En la etapa de Diseño se definieron los objetivos del proyecto y se realizó una revisión exhaustiva de la literatura. Enseguida, se evaluaron diferentes opciones de hardware, como microcontroladores, sensores GPS, magnetómetros, módulos Bluetooth y LoRa, entre otros para configurar y calibrar los sensores seleccionados. Posteriormente, se diseñó el circuito electrónico que integra todos los componentes hardware del módulo de control y se implementó el prototipo.

En la etapa de implementación, se desarrolló el software para la adquisición y procesamiento de datos de los sensores utilizados, así como los algoritmos de filtrado y fusión sensorial para mejorar la precisión de la información obtenida. Se desarrolló el software que establece la comunicación inalámbrica mediante Bluetooth entre el módulo de control y otros dispositivos cercanos, como smartphones o computadoras. Se integraron los sensores y el módulo de comunicación Bluetooth en el prototipo del sistema de control. Se desarrollaron los algoritmos para la planificación de rutas preprogramadas, teniendo en cuenta la información proporcionada por el sistema GPS y otros sensores. Por último, se integró el módulo de control motriz, desarrollado en un prototipo de robot móvil.

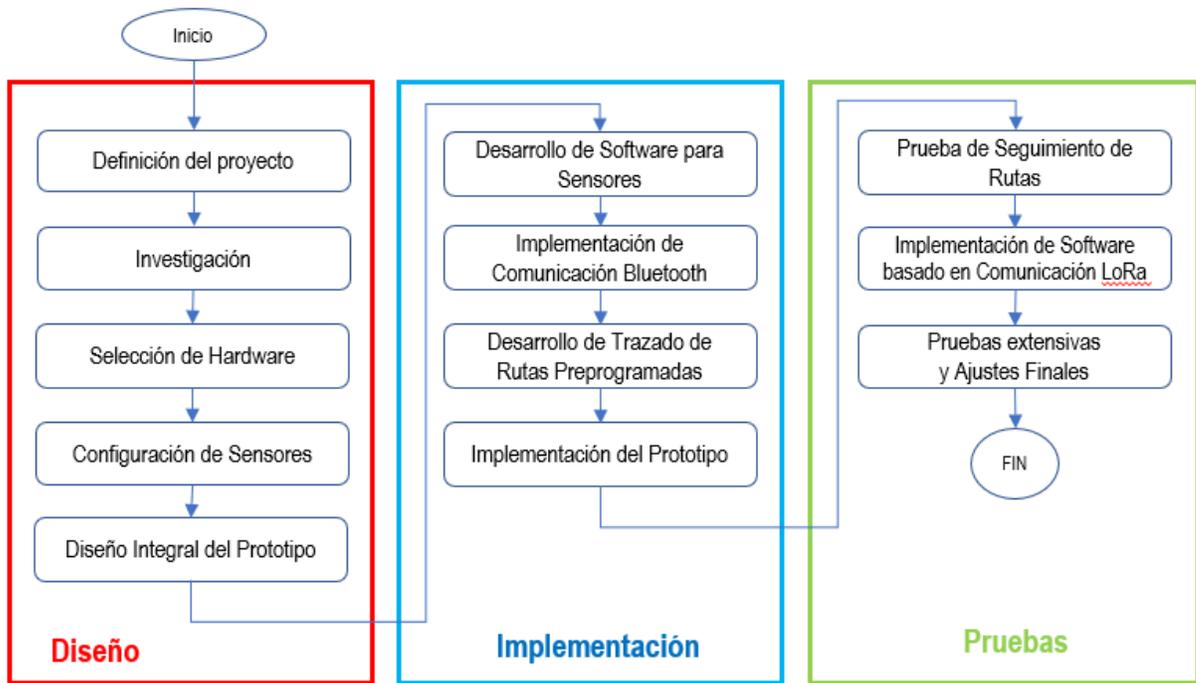
En la tercera etapa se llevaron a cabo pruebas de seguimiento de rutas preprogramadas en entornos controlados para evaluar la precisión y la capacidad de adaptación del sistema. Se desarrolló el software necesario para la comunicación inalámbrica utilizando la tecnología LoRa, se integraron estos módulos de comunicación al robot móvil y evaluó la comunicación.

Posteriormente, se realizaron pruebas de seguimiento de rutas preprogramadas utilizando el nuevo prototipo del sistema de control con comunicación LoRa. Se evaluó el rendimiento del sistema en términos de alcance y robustez de la comunicación inalámbrica y se realizaron pruebas extensivas en entornos simulados y reales para validar la eficacia y eficiencia del módulo de control.

Por último, se realizaron ajustes finales en el hardware y software del sistema a partir de los resultados de las pruebas y retroalimentación obtenida.

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología



Uno de los desafíos más importantes en la robótica móvil es la navegación autónoma, que implica la capacidad de un robot para planificar su ruta, evitar obstáculos y alcanzar su objetivo de manera segura y eficiente. La navegación autónoma se basa en una serie de técnicas y algoritmos que permiten al robot percibir su entorno, tomar decisiones y ejecutar acciones en función de esa percepción. En el ámbito de la robótica, la "navegación" se refiere a la habilidad de guiar el movimiento de un robot, a través de diversos entornos o espacio, mientras el robot se desplaza (McKerrow, P. J., 1991).

En el contexto de la robótica móvil, así como en robots autónomos en general, se identifican tres niveles esenciales para que estos sistemas puedan planificar y navegar de manera efectiva. Estos tres niveles son el "nivel de misión", el "nivel de navegación" y el "nivel de pilotaje" o nivel piloto. Ésta es una estructura jerárquica en la que los comandos van de lo general a lo específico. En este tipo de proyectos es necesario un diseño de software estructurado por capas, cada capa contiene el software correspondiente a alguno de los niveles mencionados.

El planificador de "misión" es responsable de tomar un conjunto de objetivos como entrada y generar un plan como salida para lograr dichos objetivos. Se considera el nivel

más alto y el único nivel que interactúa directamente con un posible supervisor humano, del cual recibe la información necesaria sobre los objetivos a cumplir. Este nivel se encarga de dividir el problema en sub-problemas que formarán los sub-objetivos a alcanzar.

El nivel de "navegación" tiene la tarea de evitar obstáculos utilizando la información de los sensores del robot para crear un mapa o modelo del entorno. Con este modelo, el robot puede planificar y generar trayectorias seguras sin colisiones.

Por otro lado, el nivel de "piloto" evalúa el terreno cercano al robot para determinar la secuencia de movimientos necesarios para avanzar hacia la dirección deseada o alcanzar el objetivo esperado. Normalmente, este nivel recibe un paso dentro de la ruta planeada (sub-objetivo) como entrada y proporciona una secuencia de acciones a los actuadores para alcanzar la meta intermedia.

Para lograr una planificación y navegación efectiva, los tres niveles (misión, navegación, piloto) deben comunicarse entre sí para intercambiar información. Esta comunicación puede lograrse mediante conexiones físicas o mediante archivos codificados que cada nivel crea según la información que necesita transmitir. Estos archivos pueden ser leídos por cualquier nivel que requiera la información, como bases de datos con detalles sobre el terreno y los objetivos a cumplir (Akin, R. C., 1989).

La comunicación desempeña un papel fundamental en la informática al permitir que dos componentes compartan información y trabajen juntos de manera coordinada. Por lo general, estos intercambios de información se llevan a cabo mediante la transferencia de bits a través de cables o señales electromagnéticas.

En el contexto de Arduino (microcontrolador utilizado para este proyecto), los protocolos de comunicación se refieren a los estándares y métodos utilizados para que los dispositivos Arduino intercambien datos con otros dispositivos, como sensores, actuadores u otros microcontroladores.

Estos protocolos permiten la transferencia de información de manera confiable y eficiente entre los diferentes componentes de un sistema. En este proyecto se emplearon los protocolos de comunicación UART e I2C (Loi, G. y Goilav, N., 2016). La comunicación "serie asíncrona", también conocida como UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), es el método más comúnmente empleado en el ámbito de Arduino. Se utiliza para establecer conexiones asíncronas entre un Arduino y otros dispositivos, como ordenadores. A través de este puerto, se puede visualizar la información en un ordenador cuando ambos están conectados. La comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) es un protocolo de comunicación desarrollado en 1982. Se trata de un método síncrono en

el cual uno o varios dispositivos, conocidos como "maestros", se comunican con uno o varios dispositivos llamados "esclavos". Generalmente, los microcontroladores actúan como maestros, mientras que los circuitos con sensores suelen ser los esclavos. Este protocolo utiliza dos cables: uno para la señal de reloj (SCL o Serial Clock Line) y otro para la información (SDA o Serial Data Line). En las comunicaciones I2C, siempre hay un maestro y un esclavo involucrados; las conversaciones entre maestros o entre esclavos no están permitidas (Hyde, R., 2022).

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación desarrollado por los Estados Unidos de América. Se basa en una red de satélites que giran alrededor del planeta mientras transmiten señales precisas que, al ser recibidas en algún punto del planeta, permiten deducir la posición exacta en donde se encuentra el receptor. Ofrece servicios confiables de posicionamiento, navegación y cronometraje de forma gratuita y continua a usuarios civiles en todo el mundo.

Mediante el uso de receptores GPS, el sistema proporciona la ubicación precisa y la hora exacta en cualquier momento y lugar, independientemente de las condiciones atmosféricas y sin restricciones en el número de usuarios simultáneos (NCO-PNT, 2024). Hoy en día, los receptores GPS portátiles están disponibles en el mercado para el público en general a bajo costo. El receptor empleado en este proyecto es el NEO 6M [6] que se puede conseguir por menos de 8 dólares.

En general los módulos GPS se comunican mediante el protocolo estándar NMEA 0183 o NMEA 2000, desarrollado por la National Marine Electronics Association, para lo cual hay que usar puertos UART, I2C o CAN.

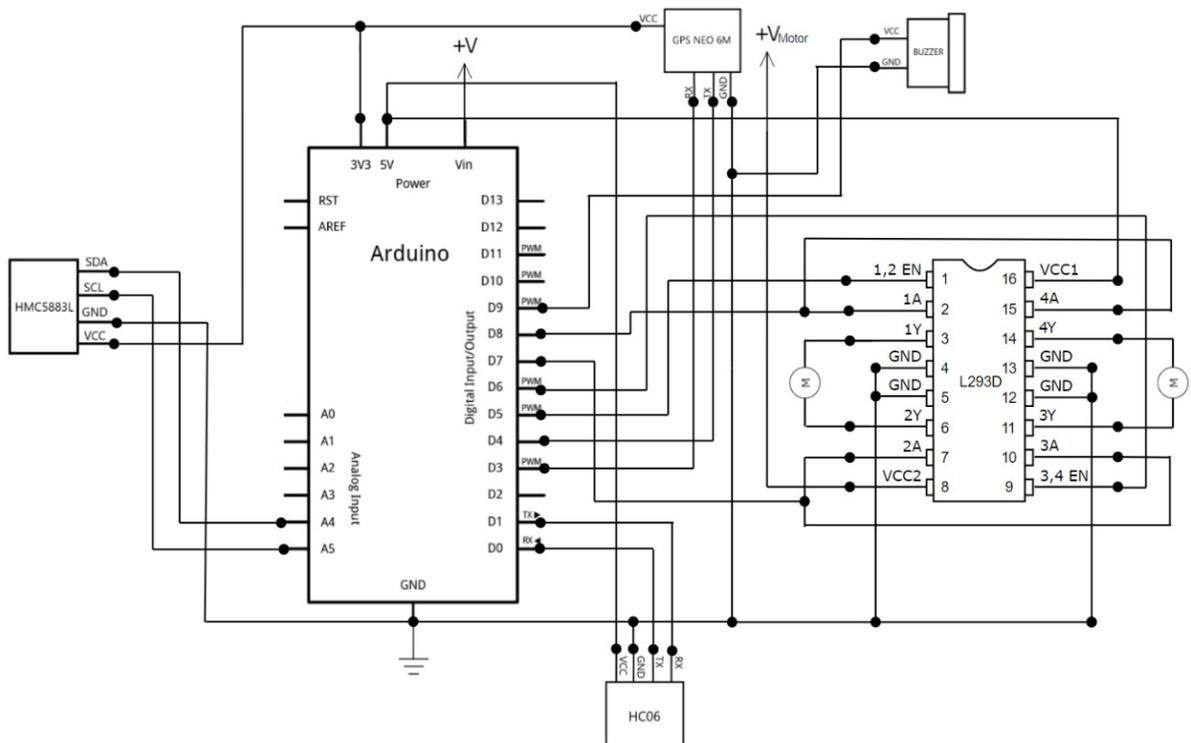
La tecnología LoRa (Long Range) (Seneviratn, P., 2019) está en alta demanda para desarrollar redes IoT, Su implementación garantiza una solución eficiente en términos de consumo energético y un alcance amplio. LoRa fue desarrollada en Francia en 2012 por Cycleo y luego adquirida por Semtech, quien la impulsó. Utiliza una modulación de amplio espectro, ideal para tolerar el ruido y permitir que una señal viaje por múltiples caminos. Aunque tiene un ancho de banda reducido, se adapta a las necesidades de los dispositivos que conecta. LoRa o LoRaWAN, es importante entender la diferencia entre ambas. LoRa se refiere a la modulación utilizada por los dispositivos para lograr una cobertura con baja potencia, mientras que LoRaWAN es el protocolo que dicta cómo se envían y reciben los paquetes de datos entre los dispositivos de la red.

Resultado

Para el desarrollo de ese trabajo, se propuso la implementación por separado de cada una de las partes y se fueron integrando al sistema una vez que ya fueran operativas. Este enfoque metodológico garantiza la uniformidad en la evaluación del desempeño del módulo en condiciones consistentes y reproducibles. En la Figura 2 se muestra el diagrama electrónico del sistema completo. Se puede ver conectado al módulo Arduino UNO (ATmega328P) (Boxall J., 2023). los módulos periféricos: GPS (GPS NEO 6M) (Ublox, 2011), empleado para determinar la posición geográfica del módulo; magnetómetro (HMC5883L) (Honeywell, 2013) indispensable para saber la orientación del módulo con respecto al norte magnético; módulo de comunicación Bluetooth (HC06) (Guangzhou, 2011), el módulo de potencia PWM (L293D) (Texas Instruments, 2016) para control de motores de las ruedas que mueven al módulo.

Figura 2

Diagrama electrónico del sistema



En la Figura 3 se muestra el diagrama general del programa. Éste, cíclicamente lee el magnetómetro, lee el GPS, almacena estos valores y los muestra a través del puerto serie al bluetooth para que el usuario pueda verificar el funcionamiento del sistema, y

tomando en cuenta los datos recibidos calcula la dirección de giro para llegar al siguiente punto de la ruta. Después, llama a la función de control de navegación para enviar a los motores las señales que corresponda para llegar al objetivo. En cada ciclo verifica si ya llegó al último punto de la ruta y de ser así, termina el programa.

También se observa que en cada ciclo realizado llama a la función “Comando_Control()”, la cual es la encargada de atender los comandos enviados por el usuario. En caso de recibirse un comando, se sale temporalmente del ciclo de recorrer la ruta, y este comando es atendido. El robot normalmente se encuentra realizando la tarea de seguir una ruta determinada previamente por varios puntos geográficos que éste tiene que seguir, pero el robot acepta comandos enviados directamente por el operador, estos comandos se muestran a continuación:

c: Es el comando principal, por medio de este comando se le ordena al robot que comience a recorrer los puntos programados en la ruta.

a: Este comando ordena al robot avanzar hacia adelante, ignorando la ruta de navegación.

r: Indica al robot que se mueva en reversa.

p: Detiene el movimiento del robot. Continúa con si se recibe después el comando “c”.

d: Hace que el robot gire hacia la derecha rápidamente.

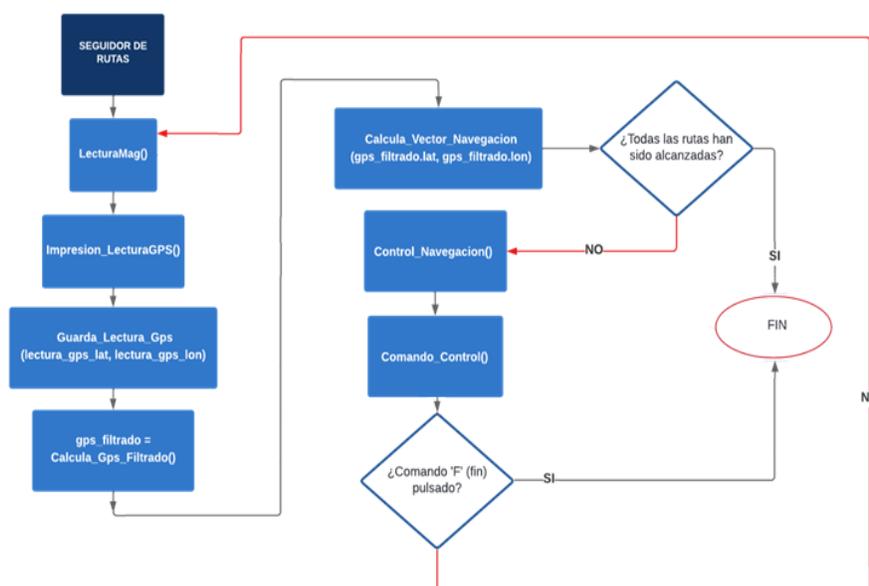
i: Ordena al robot girar hacia la izquierda rápidamente.

m: Imprime el valor del ángulo geográfico (azimut) para ser consultada por el operador.

g: Ordena al robot imprimir su posición geográfica para ser consultada por el operador.

Figura 3

Diagrama de flujo general del programa



Se implementó el módulo GPS y se verificó el funcionamiento, comparando las tramas entregadas por este módulo contra las lecturas con los valores entregados por el GPS de un smartphone de gama alta usado como patrón. El error fue menor de tres metros, lo cual fue satisfactorio, mostrado en la Figura 4. También se probaron los algoritmos para encontrar distancias a partir de las coordenadas geográficas. Se calculó la distancia de Cd. Obregón a Londres y el resultado fue 8896 km. Usando “Google earth” la distancia obtenida fue de 8911Km, lo cual da un error de 15 Km (0.16% de error).

Figura 4

Lecturas de posición y hora entregada por el GPS

```

Output Serial Monitor x
Not connected. Select a board and a port to connect automatically.
00:32:10.018 ->
00:32:10.018 -> Sats HDOP Latitude Longitude Fix Date Time Date Alt Course Speed Card Distance Course Card Chars Senten
00:32:10.018 -> (deg) (deg) Age Age (m) --- from GPS ---- ---- to London ---- RX RX
00:32:10.064 -> -----
00:32:10.064 -> **** * 0 0
00:32:11.078 -> 7 103 27.481859 -109.963165588 01/31/2024 07:32:10 607 34.50 0.00 1.35 N 8896 36.48 NE 491 2
00:32:12.077 -> 7 103 27.481859 -109.963165593 01/31/2024 07:32:11 612 34.50 0.00 0.98 N 8896 36.48 NE 1019 4
00:32:13.092 -> 7 103 27.481855 -109.963165603 01/31/2024 07:32:12 621 34.80 0.00 1.43 N 8896 36.48 NE 1547 6
00:32:14.090 -> 7 103 27.481855 -109.963165614 01/31/2024 07:32:13 632 35.00 0.00 1.13 N 8896 36.48 NE 2064 8

```

El magnetómetro usado (QMC5883L) tiene como salida tres componentes vectoriales ortogonales (x, y, z), referenciadas a la posición del circuito. Las lecturas obtenidas son utilizadas por un segundo programa que actuará como una brújula digital y de esta manera poder obtener el acimut, este es el ángulo formado entre la dirección de referencia(norte) y la línea del eje x del magnetómetro (dirección frente del carrito). Se compararon las lecturas con una brújula magnética y se observaron lecturas estables, con errores menores a +/- 1 grado, y la respuesta en tiempo fue del orden de milisegundos, (Figura 5).

Como se mencionó anteriormente, para realizar pruebas de campo, se implementó un prototipo mostrado en la Figura 6, y se evaluaron los parámetros siguientes: tiempos de conexión, precisión del GPS, calidad de la señal, entre otros. Estos han sido capturados en

escenarios distintos, cada escenario representa un punto diferente de la ruta pre-programada, todas las pruebas se realizaron en ITSON Campus Náinari.

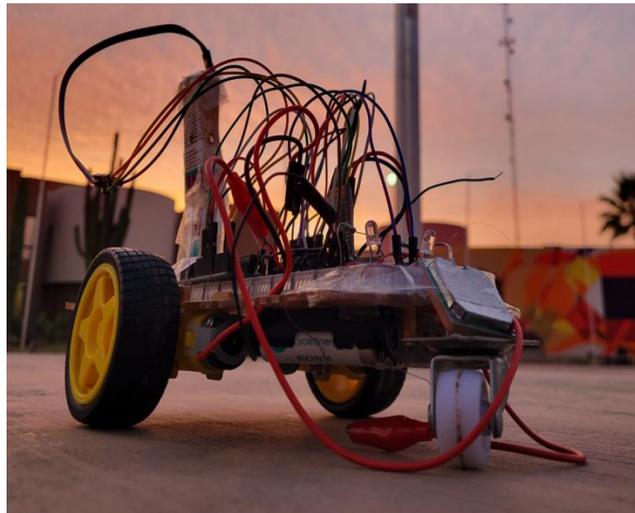
Figura 5

Valores calculados para el azimut geográfico

```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM3')
01:09:08.928 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:09.700 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:09.941 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:10.426 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:10.923 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:11.409 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:11.952 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:12.442 -> Acimut geografico: 168 grados
01:09:12.917 -> Acimut geografico: 169 grados
```

Figura 6

Implementación física del modelo funcional del sistema diseñado



La Figura 7 muestra una de las rutas que se usaron para evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales, esta prueba en particular se programó en la explanada del campus Náinari, consiste en 6 puntos geográficos: A ($27^{\circ} 29' 30.93''$, $109^{\circ} 58' 16.32''$), B

($27^{\circ} 29' 30.93''$, $109^{\circ} 58' 16.93''$), C ($27^{\circ} 29' 31.76''$, $109^{\circ} 58' 16.91''$), D ($27^{\circ} 29' 32.14''$, $109^{\circ} 58' 16.61''$), E ($27^{\circ} 29' 32.12''$, $109^{\circ} 58' 15.81''$) y F ($27^{\circ} 29' 30.94''$, $109^{\circ} 58' 15.81''$).

Figura 7

Ejemplo de rutas programadas en la unidad ITSON Náinari



La trayectoria de prueba inicia en el punto “A” y sigue el orden alfabético de los puntos, recorriendo un total de 130 metros.

En esta prueba se obtuvieron errores menores de +/-3 metros en la localización de los puntos. No existe error porcentual ya que el error solo depende del error entregado por el sensor GPS y no influye en nada la distancia recorrida. Por esta misma razón no existe error acumulativo por haberse recorrido varios puntos de la ruta.

Se evaluaron 4 rutas similares con distancias totales entre 100 y 200 metros. Y en todas las pruebas se encontraron resultados similares a los mencionados.

Discusión

Durante el desarrollo de este proyecto se ha logrado avanzar significativamente en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de seguimiento de rutas utilizando un carrito móvil.

El problema de automatizar el desplazamiento de robots móviles en ambientes no controlados (sin referencias o indicadores colocados previamente en el campo) es un problema abierto, ya que requieren integrar tecnologías diversas trabajando coordinadamente, desde sensores de varios tipos, teoría de control para los actuadores, inteligencia artificial para toma de decisiones y telecomunicaciones. Reunir todos estos subsistemas implican el uso programas de cómputo complejos capaces de manejar eficientemente todos estos recursos. El producto obtenido en esta investigación, resuelve

satisfactoriamente los objetivos planteados, pero además, el desarrollo de este proyecto permite en un futuro experimentar con tecnologías emergentes en cada una de las áreas mencionadas para dar mejores soluciones al problema mencionado.

A través de un enfoque meticuloso y multidisciplinario, se han obtenido resultados alentadores que destacan tanto las capacidades como las limitaciones del sistema desarrollado. Se ha demostrado que el carrito móvil es capaz de seguir los puntos de ruta con una alta tasa de éxito, manteniendo un margen de error mínimo dentro de los límites establecidos.

Este logro resalta la viabilidad del enfoque adoptado y su potencial aplicación en entornos prácticos, como la logística automatizada y la navegación autónoma en interiores. Sin embargo, se enfrentaron varios desafíos significativos que requirieron soluciones innovadoras y adaptativas.

Entre los principales problemas se encuentran las fluctuaciones en la precisión de los sensores, las interferencias en la comunicación inalámbrica y la optimización del algoritmo de control para garantizar una navegación fluida y precisa en entornos dinámicos y variables.

En términos generales, se alcanzaron los objetivos planteados al inicio del proyecto. El sistema ha demostrado su capacidad para seguir con éxito las rutas predefinidas, proporcionando información en tiempo real sobre la ubicación y el estado del seguimiento de rutas al usuario. Esto confirma la validez del enfoque adoptado y su potencial para su implementación en aplicaciones prácticas. La hipótesis inicial de que el sistema de seguimiento de rutas utilizando un carrito móvil sería efectivo y confiable se ha confirmado en gran medida a través de los resultados obtenidos.

A pesar de los logros alcanzados, existen áreas específicas que requieren una mayor investigación y desarrollo. Entre ellas se encuentran la mejora de la robustez del sistema frente a condiciones ambientales adversas, la optimización de los algoritmos de navegación para aumentar la eficiencia y la adaptabilidad del carrito a entornos complejos y cambiantes. Además, se podría explorar la integración de tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático y la visión por computadora, para mejorar aún más la precisión y la autonomía del sistema.

Referencias

- Akin, R. C. (1989). *Navigation Path Planning for Visual-Based Mobile Robot*. Robotica. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/S0263574700005038
- Boxall, J. (2023). *Arduino for Arduinians: 70 Projects for the Experienced Programmer*. Editorial No Starch Press
- Goilav, N. y Loi, G. (2016). *Arduino - Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*, Guangzhou HC Information Technology Co. Ltd. (2011). HC06 Module Data Sheet, rev 2.2.
- Guerrero-Castellanos, J., Villarreal-Cervantes, M. G., Sánchez-Santana, J. P., & Ramírez-Martínez, S. (2014). Seguimiento de trayectorias de un robot móvil (3,0) mediante control acotado. *Revista Iberoamericana de Automática E Informática Industrial*, 11(4), 426-434. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.09.005>
- Honeywell. (2013). *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. Número de manual 900405 Rev B.
- Hyde R. (2022). *The Book of I²C: A Guide for Adventurers*, ISBN:978-1718502468.
- Koen, B. V. (2003). *Discussion of the Method: Conducting the Engineer's Approach to Problem Solving*
- McKerrow, P. J. (1991). *Introduction to Robotics*. Addison Wesley.
- National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation AND Timing. (2024). GPS: The Global Positioning System, <https://www.gps.gov/spanish.php>
- Sanguino, T. J. M. (2017). *Robótica Móvil: Principios Tendencias y Aplicaciones*. 2da Ed.
- Seneviratn, P. (2019). *Beginning Lora Radio Networks with Arduino: Build Long Range. Low Power Wireless IoT Networks*, 1st edition.
- Texas Instruments. (2016). *L293x Quadruple Half-H Drivers datasheet*. Reference Manual SLRS008D.
- Ublox. (2011). NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet, Código de manual GPS. G6-HW-09005-E.

Capítulo 5

Implementación de un prototipo de pruebas de bajo costo para el laboratorio de Teoría de control

Adolfo Soto Cota

José Manuel Campoy Salguero

Andrés Othón Pizarro Lerma

Resumen

Considerando la importancia de la práctica en el cumplimiento de las competencias de los cursos de la academia de teoría de control y de las condiciones actuales de los equipos de laboratorio de control automático, se propuso el diseño y fabricación de un prototipo de control de velocidad de un motor CD, que cumpla con las necesidades técnicas más importantes además de ser de fácil construcción, repetible y de bajo costo. Considerando el resultado de diseño e implementación, el módulo construido excede los requerimientos planteados y representa una buena alternativa para el correcto equipamiento de los laboratorios de control automático en el instituto.

Palabras clave: Sistema de control, implementación, regulación, velocidad

Introducción

Las universidades, tanto a nivel nacional como internacional, enfrentan el reto de ofrecer cursos de laboratorio en el área de Control Automático, donde las sesiones prácticas sean significativas y relacionadas con la adquisición de conocimientos y habilidades que les serán útiles en su futuro profesional. Uno de los principales problemas a enfrentar es el costo de los equipos que se requieren, y algunas lo han resuelto desarrollando prototipos de bajo costo (Fajrin & Dadang, 2022).

A principios de los 90 con el plan 1995 del programa de ingeniero en electrónica, se adquirió equipo de la marca Quanser para analizar el comportamiento de motores de CD y sus controladores. En aquel tiempo por lo nuevo del equipo y el costo solo se adquirieron cuatro unidades (Quanser, 2024). Se siguieron utilizando y cuando fallaban, el departamento de laboratorios, en su área de mantenimiento, tenía la posibilidad de repararlos. Para el plan 2002 se buscó adquirir más equipo de este tipo, pero este ya estaba en obsolescencia y los módulos con los que se reemplazaron eran mucho más costosos. Con el plan 2002, se fueron adquiriendo más equipos relacionado con el área de

automatización y redes industriales, ya que también en esta área de aplicación se tenían carencias significativas. Por lo que en el área de control automático y sistemas dinámicos se siguieron utilizando los módulos RC-01 junto con prácticas aisladas utilizando principalmente amplificadores operacionales. Además, que se reforzaba el conocimiento por medio de proyectos fuera de clase o fuera del tiempo del laboratorio.

Actualmente, la academia de control observa que la disponibilidad del equipo adecuado del laboratorio en los programas educativos de Electromecánica, Electrónica y Mecatrónica, presentan serios problemas. Por principio de cuentas, los equipos de laboratorios son altamente costosos, generalmente con contratos forzados de actualización o mantenimiento. Lo anterior impide entre otras cosas, que los equipos puedan ser reparados internamente o modificados para adecuarlos a necesidades específicas de la academia. Por lo anterior se cuentan con pocos equipos de laboratorio en el área de control automático, generando el problema de desequilibrio entre la cantidad de estudiantes por equipo.

Como una medida de solventar este problema de desabasto de equipo de laboratorio, la academia de control automático implementó la utilización de software (Octave, 2024) en las prácticas en las que se atendían algunos de los temas que se desarrollan en los cursos de Teoría de control. En los laboratorios de Teoría de control se cambia la estrategia de enseñanza, dividiendo el grupo de tal forma que una parte del grupo desarrolla las prácticas con el motor mientras que la otra parte se dedica al modelado y la simulación. Lo anterior si bien ha dado resultados buenos, presenta también los siguientes problemas: 1) Es un mayor reto para el instructor del laboratorio ya que se están atendiendo dos prácticas al mismo tiempo. Otro problema, es que se ha observado que la parte del grupo que realiza las prácticas con software, no desarrolla completamente las habilidades prácticas y por lo tanto su competencia a adquirir. Otro problema es que también dificulta la sincronización de las prácticas de laboratorio con respecto a los cursos de teoría. Lo anterior es algo grave, ya que es muy importante que antes de realizar una práctica el estudiante ya cuente con el sustento teórico necesario.

Objetivo

Desarrollar un módulo de laboratorio de control automático de bajo costo que cumpla con los requerimientos de aprendizaje que les permitan lograr las competencias de los cursos.

Método

Se utiliza una metodología de diseño de ingeniería, que establece los siguientes pasos: reconocimiento de la necesidad, análisis de la naturaleza del problema, se especifican y se

preparan los requerimientos en términos de características deseables y elementos. Para después plantear posibles soluciones. Se selecciona la solución más adecuada, se implementa y se evalúa (Bolton, 2013). Los participantes son los miembros de la academia de teoría de control, junto con algunos estudiantes de los programas del departamento de eléctrica y electrónica. Los instrumentos a utilizar son principalmente las bases estadísticas de los cursos de teoría de control, bibliografía del área de automatización, manuales de equipos e investigación de las tecnologías disponibles comercialmente.

Una vez hecho el estudio de la situación actual, se define la variable de proceso a analizar. Se determinó que las variables físicas más significativas en los procesos industriales son temperatura, velocidad, presión y humedad. Se opta por la variable velocidad ya que a nivel laboratorio es más adecuada para medir y controlar. Además, que cuenta con pocas restricciones de tiempo, necesita sensores y actuadores no costosos y es adecuada con los criterios de las competencias establecidas en el curso.

Después, se determinaron las características que debe de tener el módulo. Entre los aspectos principales debe ser abierto, utilizar plataformas abiertas disponibles, debe de contar con elementos de sensado y actuación que puedan ser modificados. Debe de contar con una unidad de control que sea programable y libre para ser modificada, ya que se espera que los estudiantes puedan aplicar diferentes algoritmos de control sin que represente un riesgo o dificultad técnica. Por último, se espera que el módulo tenga acceso a la medición de variables de entrada y salida. También debe de contar con algún medio de despliegue de respuesta, de datos del sensor y de variables del actuador.

Dentro de las tecnologías disponibles, está la opción por circuitería analógica o módulos de tipo digital. Respecto a los microcontroladores está la opción de DSPics, Pics (Microchip, 2024) computadoras, tarjetas de adquisición de datos, procesadores digitales de señales etc. Se opta por la plataforma de desarrollo Arduino, específicamente la tarjeta Arduino uno R3, ya que cumple con las necesidades del módulo, ver Figura 1.

Figura 1

Arduino uno R3



El motor seleccionado es un motor de corriente directa sin escobilla con motorreductor, ver Figura 2, ya que cuenta con la velocidad adecuada, tiene integrado el sensor de velocidad (encoder), puede ser usado tanto para el control de velocidad como control de posición, además de ser reversible. A continuación, se listan las especificaciones técnicas:

Diámetro del motor: 37 mm / 1.46in

Longitud del eje: 15.5 mm / 0.61in

Tamaño de tipo D: 12 mm / 0.47in

Tipo de conexión: XH2.54-6PIN Terminal Connector

Voltaje: 12V, Velocidad: 200 r.p.m.

Figura 2

Motor reductor CD, 200 r.p.m. 12 volts

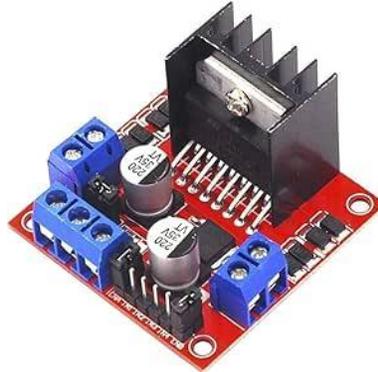


Actuador. Como actuador se optó por el puente H L298, por ser barato, ver Figura 3, cumple con las especificaciones del motor, tanto de voltaje como de corriente y por ser configurable. Puede manejar motores CD de hasta 2 amperios. El chip L298N internamente posee dos puentes H completos que permiten controlar hasta 2 motores CD o un motor paso a paso bipolar/unipolar. El puente L298 permite controlar el sentido y velocidad de giro de motores mediante señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi, (Raspberry PI , 2024) o Launchpads de Texas Instruments (Texas Instruments, 2024). El control del sentido de giro se realiza mediante dos pines para cada motor, la velocidad de giro se puede regular haciendo uso de modulación por ancho de pulso (PWM por sus siglas en inglés).

Tiene integrado un regulador de voltaje LM7805 de 5V encargado de alimentar la parte lógica del L298N, el uso de este regulador se hace a través de un Jumper y se puede usar para alimentar la etapa de control (NayLAB, 2024).

Figura 3

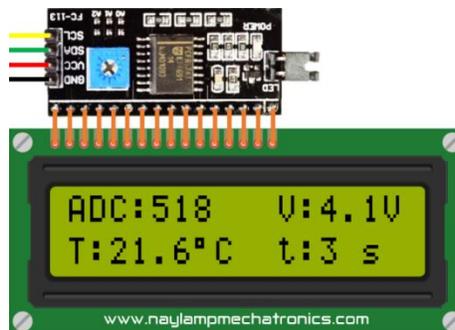
Puente H L298



Despliegue de datos. Es importante que el módulo sea autosuficiente, en el sentido que no necesite algún controlador externo para funcionar, aunque si será necesario ingresar al IDE de Arduino si se desea hacer algún cambio al algoritmo de control. Por lo anterior, para que sea autónomo, es muy importante que el módulo tenga algún tipo de visualización de la variable a controlar y de la modificación del valor de velocidad deseado. Se opta por la pantalla LCD azul de 16X2 (Dos renglones con 16 caracteres cada renglón), ver Figura 4. Además fue necesario, para el despliegue de los datos y por las limitaciones de puertos de salida de la placa Arduino UNO R3, un comunicador serie I2C (Inter-Integrated Communication, en inglés) es una interface de comunicación serie que básicamente asigna una clave a cada salida para que puedan ser transmitida varias señales por solo por dos cables (usa dos líneas SCL y SDA, para la transmisión y recepción), en un arreglo que se denomina multi.master/multi slave. En la Figura 4, en la parte superior se encuentra el comunicador serial I2C, obsérvese el cable amarillo (SCL) y el cable verde (SDA) que es por donde se recibe y transmite la información a desplegar en la pantalla desde el microcontrolador (Arduino uno R3).

Figura 4

Despliegue y módulo I2C



Fuente de poder. La fuente de poder debe de tener el nivel de voltaje de diseño del motor, que es 12 volts y tener la potencia suficiente para manejar todo el módulo. Tomando en cuenta que la placa de Arduino uno R3, por diseño permite una alimentación entre 7 y 12 volts y más o menos su consumo es de un ampere, mientras que el puente h soporta hasta 2 ampere, se estima que la fuente de voltaje adecuada debería ser de 12V- 5 amperes. Entonces cualquier fuente de corriente directa 12Volts con potencia igual o mayor a 60 Watts es adecuada. En este caso, por disponibilidad, se utiliza una fuente de voltaje 12Volts 360 watts (potencia sobrada), ver Figura 5.

Figura 5

Fuente de voltaje CD 12Volts, 360 watts

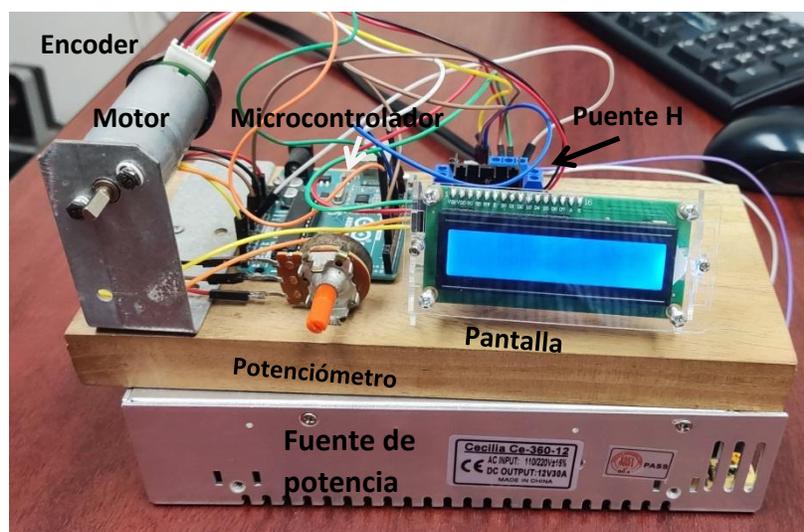


Resultados

Prototipo. Se determinó que el módulo de control de velocidad debería estar en una sola plataforma, que por cuestiones tanto estéticas como dieléctricas se opta por ser base de madera. En la Figura 6, se observa el módulo terminado.

Figura 6

Módulo de control de velocidad



En la Figura 6 se observa a la izquierda el motoreductor (motor CD) y su base, hacia la derecha se tiene el selector de velocidad deseada, que es un potenciómetro que lleva una señal de voltaje entre 0 y 5 volts, que posteriormente por programación se convierte a un valor de velocidad entre 60 y 150 r.p.m. Cabe destacar que este rango de velocidad deseada está de acuerdo con las capacidades físicas del motoreductor que se utilizó. Estos valores pueden ser modificados por programación. Detrás del potenciómetro se encuentra el microcontrolador Arduino. Se observan también las conexiones entre la placa Arduino, el potenciómetro, el conector del motoreductor, el puente h y la pantalla de despliegue de valores de velocidad. Por último, en la figura 6 a la derecha está la pantalla, detrás de ella se observa el puente h y debajo de la placa de madera está la fuente de potencia utilizada.

Programación

El microcontrolador Arduino, necesita de la programación de instrucciones para su funcionamiento. Esta programación se realiza por medio de la plataforma IDE de Arduino (Integrated Development Environment (IDE)), (Arduino, 2004). El lenguaje base de programación es lenguaje C. Pero en el caso de Arduino es un lenguaje muy simplificado, por lo que si ya se ha utilizado algún tipo de lenguaje de programación, será muy fácil poder programar tarjetas Arduino. El programa que se desarrolló para este módulo de control de velocidad, se encuentra al final en el apéndice.

Pruebas de desempeño

Además de las características expuestas en la metodología, el prototipo propuesto se diseña para que sea robusto ante el uso normal de operación. Además, es necesario verificar si cumple con el objetivo de ser una plataforma para que los estudiantes puedan aplicar sus conocimientos y algoritmos de control. La primera prueba tiene que ver con la validación de la programación, que es indispensable para ingresar los comandos al microcontrolador. Aquí se verificó que la comunicación entre el IDE de arduino (Integrated Development Environment) y el microprocesador sea correcta. Lo que permite llevar a cabo la escritura de las sentencias para el funcionamiento de los elementos físicos (motor CD, potenciómetro, puente h, etc) en la placa de Arduino.

Posteriormente se verifica la exactitud entre la velocidad deseada y la real. Aquí se realizan varias pruebas. Para fines demostrativos se muestran resultados de solo dos velocidades (a 100 r.p.m. y a 140 r.p.m). Ver Figuras 7 y 8.

Figura 7

Prueba a 140 r.p.m.

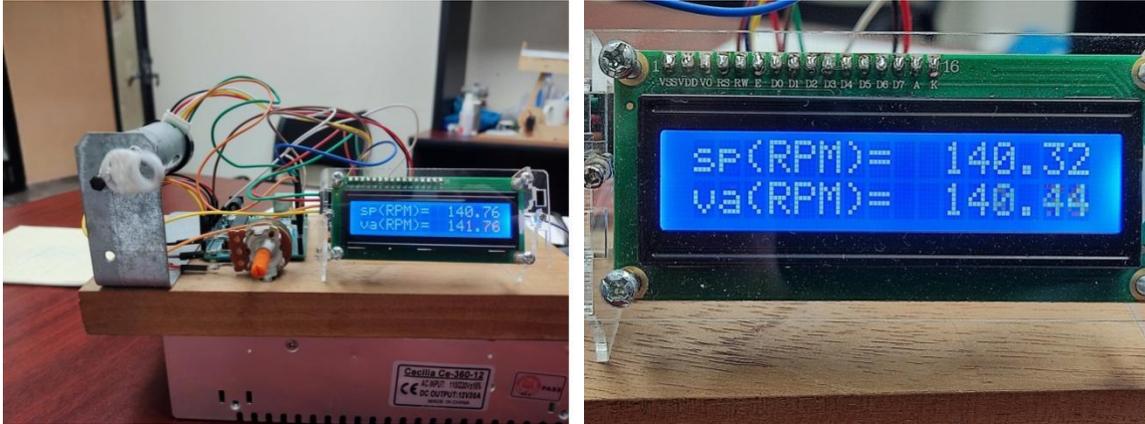
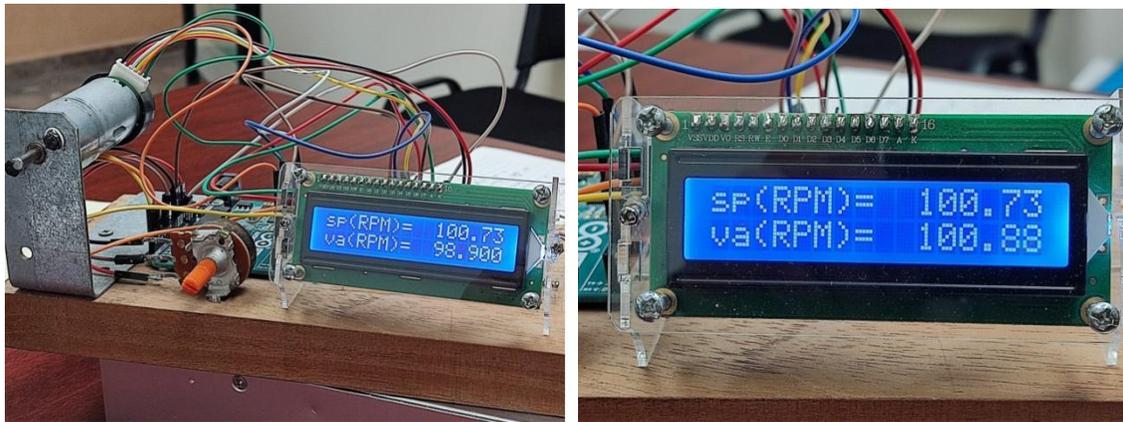


Figura 8

Prueba a 100 r.p.m



En la Figura 9 se muestra la respuesta del controlador ante una petición de cambio de velocidad. En esta ocasión se muestra que tan rápido regula la velocidad desde una condición de menor velocidad (0 r.p.m.) a una de mayor velocidad (140 r.p.m.). Esta gráfica se consigue desde la plataforma IDE de arduino, lo que muestra que la comunicación entre la PC y el microcontrolador del prototipo es correcta, permitiendo que el usuario (estudiante) pueda implementar sus algoritmos de control, los ajustes de su propio diseño y visualizar la efectividad de la estrategia de control que diseña.

Figura 9

Respuesta del control de lazo cerrado



Nota: color azul: valor deseado; rojo: respuesta de velocidad del motor; verde: límite de velocidad de diseño.

Discusión

El módulo resultante puede ser utilizado en práctica de laboratorio donde se traten los temas de:

- Modelado de sistemas en lazo abierto por medio de funciones de transferencia (FDTs),
- Sistemas realimentados,
- Teoría de errores en estado estable,
- Análisis de Estabilidad,
- Diseño e implementación de controladores Proporcional (P), Proporcional+Integrador (PI) y Proporcional+Integrador+Derivador (PID), usando tanto métodos analíticos, como el de ubicación de polos en el Lugar Geométrico de las Raíces, y heurísticos, como el de Ziegler-Nichols,
- Evaluación de respuestas con diferentes controladores.

El estudiante tiene la posibilidad de modificar el funcionamiento de todo el sistema por medio de la edición del programa en la plataforma de Arduino.

Debido a que es un diseño modular es fácil de operar y de darle mantenimiento, ya que los componentes son de bajo costo y fáciles de adquirir.

Considerando el resultado de diseño e implementación, el módulo construido excede los requerimientos planteados y representa una buena alternativa para el correcto equipamiento de los laboratorios de control automático en el instituto.

Referencias

- Arduino.cl (s.f.). Software de Arduino. Consultado el 31 de mayo de 2024 de:
<https://arduino.cl/programacion/>
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica un enfoque multidisciplinario*. 5a. ed. Alfaomega.
- Fajrin, S. & Hakim, D. (2022). Implementation of Low-Cost Laboratory in Education: A Systematic Literature Review. *Teknologi dan Kejuruan: Jurnal Teknologi, Kejuruan, dan Pengajarannya*. 45. 123. 10.17977/um031v45i22022p123-132.
- Microchip (2024) <https://www.microchip.com/> Consultado el 31 de mayo de 2024.
- NeyLab Mechatronic (31 de mayo de 2024) <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puenteh1298n.html#:~:text=El%20driver%20puente%20H%20L298N,paso%20a%20paso%20bipolar%2Funipolar.>
- Octave (31 de mayo 2024) <https://octave.org/>
- Quanser (31 de mayo de 2024) <https://www.quanser.com/products/qnet-2-0-CD-motor-board/>
- Raspberry Pi (31 de mayo de 2024) <https://www.raspberrypi.com/>.
- Texas Instruments (31 de mayo de 2024)
[https://www.ti.com/lit/pdf/ssqw075?keyMatch=launchpad.](https://www.ti.com/lit/pdf/ssqw075?keyMatch=launchpad)

APÉNDICE

PROGRAMA

```
int activar = 2;
int pinA = 3;
volatile int contador = 0;
unsigned long previoMillis = 0;
long intervalo = 100;
int pot = A1;
float setpoint;
float pv;
float error;
float error1;
float error2;
float cv;
float cv1;

float kp = 1;
float ki = 2;
float kd = 0.01;
float tm = 0.1;

void setup() {
  // Código de configuración que se ejecuta solo una vez
  pinMode(activar,OUTPUT);
  pinMode(pinA,INPUT);
  Serial.begin(115200);
  attachInterrupt(1,interupcion,RISING);
}

void loop() {
  // Código principal, para mantener corriendo constantemente:
  unsigned long actualMillis = millis();
  if ((actualMillis - previoMillis) >= intervalo)
  {
    previoMillis = actualMillis;
    pv = 10*contador*(60.0/910.0);
    contador = 0;
  }
  // SET POINT
  //int lee=0;
  //int sum=0;
  //int i;
  //for (i=0;i<10;i++){
  //lee=analogRead(pot);
  //sum=sum+lee;}
  //sum=sum/10,
  //setpoint = sum*(150.0/1023.0);
  setpoint = analogRead(pot)*(150.0/1023.0);
  //setpoint = map(valorpot, 0, 1023, 0, 255);
  // ERROR
  error = setpoint - pv;

  // -----ACCIÓN de CONTROL-----
  cv = cv1 + (kp + kd/tm)*error + (-kp + ki*tm -2*kd/tm)*error1 + (kd/tm)*error2;
  cv1 = cv;
  error2 = error1;
```

```

error1 = error;

// -----SATURACIÓN DE cv-----
if (cv > 500.0){
  cv = 500;
}
if (cv < 16.0){
  cv = 16.0;
}
analogWrite(9, cv*(255.0/500.0));
digitalWrite(activar,LOW);
Serial.print("setpoint = ");
Serial.print(setpoint);
Serial.print(" , pv= ");
Serial.print(pv);
Serial.print(" ");
Serial.print(150);
Serial.print(" ");
Serial.println(0);
//Serial.print(" , error: ");
//Serial.print(error);
//Serial.print(" , control: ");
//Serial.println(u);
delay(100);
}
void interrupcion () {
  contador++;
}
GD

```

Capítulo 6

Diseño conceptual y análisis de dispositivo de protección para robot industrial

Pablo Alberto Limon Leyva

Rafael Alfonso Figueroa Díaz

Adolfo Soto Cota

Erica Cecilia Ruiz Ibarra

Resumen

El presente proyecto consiste en el diseño y análisis de un dispositivo de protección al efector final del brazo robótico que fue instalado en el LV 1515 de la unidad Náinari. El robot actualmente se utiliza por los alumnos de los programas de electromecánica, mecatrónica y manufactura, para actividades tanto educativas como de investigación, por lo que se encuentra expuesto a accidentes por colisión que pueden ocasionar daño tanto al efector final como a los servomotores. Para atender la necesidad de proteger el equipo se implementará la metodología de diseño de Robert L. Norton para el diseño de un dispositivo capaz de absorber la energía generada durante una colisión. Se propusieron tres diseños preliminares, que fueron evaluados en función de los requerimientos de diseño establecidos, así como los criterios de desempeño y factibilidad de fabricación. Como resultado se presenta el diseño conceptual y el análisis mecánico y numérico del prototipo seleccionado. Para el diseño y análisis se implementaron herramientas tecnológicas de diseño asistido por computadora y análisis por elemento finito. Al instalar la protección al efector se procura optimizar la vida útil del brazo robótico que se contempla como pieza fundamental en el propósito de establecer en el LV 1515 un centro de investigación y enseñanza en diseño, manufactura y materiales.

Palabras clave: Diseño, procesos de manufactura, absorción de sobreesfuerzo, elemento finito.

Introducción

La necesidad cada vez más apremiante de incrementar la productividad buscando conseguir resultados eficientes y de calidad, está promoviendo que la industria gire cada vez más hacia una automatización basada en robots industriales (Barrientos, 2022). Impulsados por la industria del automóvil, actualmente son un elemento imprescindible en muchas líneas de producción (Industrial Robots for Manufacturing | FANUC América, 2022). En este sentido los desarrollos de la robótica industrial están orientados hacia la mejora de la movilidad, destreza y autonomía de sus acciones, así como elevar la interacción con la

mano de obra humana (American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems, 2009).

Uno de los métodos de protección más utilizados en la industria, es la utilización de guardas para los robots, evitando el contacto con operadores, los cuales son los principales causantes de accidentes durante la trayectoria de los robots, por lo cual, el Estándar Nacional Estadounidense para Robots Industriales y Sistemas Robóticos: requisitos de seguridad (RIA por sus siglas en inglés) es la única organización en el continente americano, especializada en la organización y homologación de los estándares de seguridad robótica. Este organismo desarrolló la norma R15.06, la cual proporciona una orientación sobre el uso correcto de las características de seguridad en robots, así como la metodología para integrar o instalar de forma segura los robots dentro de plantas industriales, laboratorios u otras áreas de trabajo (McMaster-Carr, 2023).

En México actualmente no existe ninguna regulación gubernamental para el uso de robots industriales, siendo la norma R15.06 la que se emplea principalmente en plantas de capital externo (McMaster-Carr, 2023). La causa principal de colisiones en robots industriales es provocada por intervención humana dentro del área de trabajo, por lo que la norma R15.06 especifica las dimensiones de las guardas de seguridad las cuales delimitan el área de trabajo del robot, impidiendo el paso al personal y sobre todo a visitantes que desconocen los movimientos del robot en los diferentes pasos del proceso (McMaster-Carr, 2023).

Además de salvaguardar la integridad de las personas durante los procesos industriales también es importante la protección y cuidado de las máquinas para optimizar su vida útil. Aunque los equipos industriales suelen ser altamente potentes, están expuestos a colisión que pueden sobrepasar sus tolerancias de funcionamiento afectando directamente los servomotores (Dauchez, 2013).

En el año 2020 el Instituto Tecnológico de Sonora recibió un robot marca FANUC que se instaló en el LV 1515 de la unidad Nainari, este equipo requiere para su funcionamiento de un efector final. Un efector final robótico es cualquier objeto unido a la base en el último tramo del robot que cumple una función específica. Esto incluye pinzas robóticas, cambiadores de herramientas, juntas rotativas, herramientas de prensa, dispositivos de cumplimiento, pistolas de pintura, herramientas de eliminación de material, pistolas de soldadura por arco, remachadoras, etc. (Gutiérrez, 2021).

La selección e instalación del efector depende de la tarea para la cual se programe el robot. En un ambiente educativo como en el que actualmente se utiliza, el brazo robótico

se encuentra expuesto a que en algún momento de calibración o puesta a punto pudiera presentarse una colisión, causando un daño importante al efector final del robot u otros elementos utilizados durante el proceso del análisis, lo cual generaría altos costos a la institución y retrasos en los proyectos de investigación que se pretenden realizar. La intención del presente proyecto es realizar el diseño, análisis y posterior manufactura e instalación de un dispositivo de protección al efector final del brazo robótico, que pueda garantizar la integridad de sus componentes, así como de las herramientas finales de trabajo, durante las prácticas y pruebas que se realizan en el laboratorio.

La protección del brazo robótico forma parte de un objetivo mayor que sigue la línea de generación de aplicación del conocimiento “Proyecto Mecánico” del Cuerpo Académico “Desarrollo en Ingeniería Mecánica”, como responsable de esta LGAC en proyectos anteriores se ha procurado el auto equipamiento del laboratorio LV -1515 con el propósito futuro de establecer en él un centro de investigación y enseñanza en diseño, manufactura y materiales que pueda atender las demandas y requerimientos del sector industrial, tanto regional como nacional en cuanto a la investigación de caracterización de materiales y procesos de manufactura modernos.

En el Laboratorio LV-1515 (Campus Nainari) se atienden a los programas académicos de Ingeniero Electromecánico, Ingeniero Mecatrónico e Ingeniero en Manufactura, los alumnos de estos programas ahora cuentan con un ambiente de aprendizaje real, donde además de poder realizar investigación en un área específica de procesos de manufactura, también pueden desarrollar el trabajo colaborativo entre las áreas mecánica, eléctrica, electrónica, mecatrónica y manufactura.

Objetivo

Realizar el diseño conceptual de un dispositivo de protección para un robot industrial instalado en el Lv 1515 de ITSON campus Nainari, utilizando la metodología de Robert L. Norton y Gerhard Pahl, así como herramientas CAD y CAE para diseño y análisis numérico.

Método

Sujeto de estudio

Se busca diseñar y evaluar un dispositivo de protección de sobre esfuerzos para un brazo robótico donado a ITSON por la empresa Ford, el proyecto se desarrolló en las instalaciones del instituto utilizando software, equipo y recurso humano de la institución.

Procedimiento

El presente proyecto requirió la implementación de la metodología de Diseño de Robert L. Norton (Norton, 2021) como guía para el desarrollo de las propuestas a evaluar, para el

análisis de las propuestas se aplicó la metodología desarrollada por Gherald Palh (Palh, 1996) y se realizó el análisis numérico del prototipo seleccionado, a continuación, se presenta la descripción detallada del proceso:

1. Diseño

La metodología de diseño de Robert L. Norton, consiste en la detección de la necesidad, planteamiento de objetivos, establecimiento de requerimientos de diseño, ideación de la invención, establecimiento de criterios de evaluación, evaluación jerárquica y finalmente selección del diseño, también forma parte de esta etapa el modelado geométrico y planos de dibujo normalizados que permitan manufacturar el prototipo.

1.1 Especificaciones de desempeño

En función de cumplir los parámetros de calidad del dispositivo y asegurar efectiva protección del robot industrial, los requerimientos para el diseño del prototipo se enlistan a continuación:

Absorción de excesos de energía dinámica del proceso: El dispositivo debe absorber principalmente las colisiones de tipo compresión. El impacto de la energía generada durante una colisión debe absorberse por una cámara hidráulica, esto protegerá a la herramienta de daños por choques.

Longitud reducida: Entre más grande sea el dispositivo generará un mayor par al momento de trabajar con la herramienta instalada.

Estabilidad: El dispositivo no debe permitir variaciones de distancia en el efector final, lo cual afectaría en la trayectoria de la herramienta.

Seguridad: El sistema debe contraerse como mínimo 20 milímetros. en caso de un sobreesfuerzo por compresión.

Compatibilidad: Superficie de montaje compatible, Debe acoplarse a la base del brazo robótico mediante orificios roscados o pasados para agregar facilidad de instalación.

1.2 Ideación e invención

Considerando las especificaciones de desempeño e investigación preliminar, se procedió a realizar una lista simplificada para generar los módulos que conforman el prototipo del dispositivo. Los cuales se mencionan en la Tabla 1.

Tabla 1

Módulos que conforman el prototipo

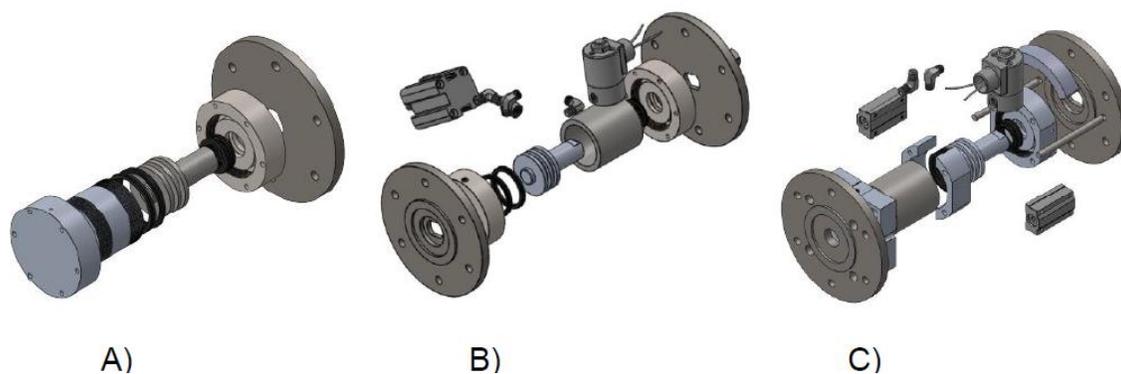
Estructural	Sujeción	Movimiento	Mecanismo	Guías
Elementos geométricos que reaccionan y relacionan a las cargas, con la finalidad de resistir y transmitir las fuerzas a sus apoyos de tal manera que se garantice su seguridad y funcionalidad.	Elementos que ubican la herramienta en la pieza de trabajo, en este caso prototipo de protección contra sobreesfuerzos del brazo robótico.	Elementos que participan en la transmisión de movimiento durante el proceso de absorción del sobreesfuerzo.	Elementos que recibirán la energía de entrada y a través de un sistema de transmisión y transformación de movimientos, absorberán la sobrecarga.	Mecanismos que permiten el movimiento de una pieza móvil sobre otra fija en el prototipo.

Con base en las especificaciones de diseño, se acordó que el dispositivo constaría de un cilindro hidráulico, comunicado a un cilindro de alivio por medio de una electroválvula, la cual será accionada al momento de registrar un aumento excesivo de fuerza en el cilindro hidráulico principal, contrayendo el vástago del pistón un mínimo de 20 mm. protegiendo al robot de daños por sobreesfuerzo obsérvese Figura 1.

Una vez definidos los componentes de cada módulo, se da paso a la etapa creativa donde el equipo de trabajo se reunió y mediante intercambio de ideas se desarrollaron tres propuestas de dispositivo, las cuales se presentan a continuación:

Figura 1

Variantes de prototipo



Nota: A) Variante PA, B) Variante PB, C) Variante PC

Variante prototipo A (PA)

Dispositivo de protección de funcionamiento mecánico, compuesto por un acoplador de base al robot, acoplador de base a la herramienta y un resorte para liberar el sobre esfuerzo.

Variante prototipo B (PB)

Dispositivo de protección de funcionamiento hidráulico, que consta de un cilindro de alivio, una electroválvula, un acoplador de base al robot y acoplador de base a la herramienta.

Variante prototipo C (PC)

Dispositivo de protección de funcionamiento hidráulico, que consta de un cilindro de alivio, una electroválvula, guías y rodamientos lineales para evitar rotación, un acoplador de base al robot y acoplador de base a la herramienta.

1.3 Evaluación y selección del prototipo

Para seleccionar el prototipo de dispositivo de protección, se requirió elaborar una matriz de evaluación el cual contempla cada una de las variantes consideradas.

Para crear la matriz de evaluación se implementó el método Gerhard Pahl y Beitz, Este consiste en establecer criterios de diseño con la finalidad de cotejar y evaluar cada una de las características de las variantes mediante la ponderación y asignación de parámetros escalados numéricamente de cada criterio.

1.4 Establecimiento de los criterios de diseño

Después de haber definido el objetivo principal, las funciones primarias del prototipo y los requerimientos de diseño, se establecieron los criterios de diseño con el fin de valorar cada una de las características de las variantes de los prototipos.

1.5 Ponderación de criterios de evaluación para el prototipo.

Para definir la ponderación de cada criterio de diseño, se realizó un árbol jerárquico, este orden está establecido por los niveles de los criterios. Después, se asignó un peso ponderado a cada uno de los criterios de diseño. Cada criterio está especificado por su código (ver Tabla 2) y contiene dos valores numéricos. El valor establecido en el lado izquierdo del criterio corresponde a la aportación designada para el cumplimiento del criterio del nivel superior, el valor establecido del lado derecho corresponde a la contribución relativa del total (peso ponderado W_i). La sumatoria de los pesos ponderados de cada criterio, el cual es localizado al final de cada rama, debe de ser igual a 1.

Los criterios localizados al final de cada rama fueron implementados en la matriz de evaluación en donde cada una de las variantes de diseño fueron cotejadas.

Tabla 2*Criterios con valores escalares y pesos ponderados*

Código	Criterio	Peso (W)
C1	Dim. Máx. permisible: 10.16cm x 9cm x 9cm.	5
C2	Disponibilidad de materia prima en el mercado	10
C3	Partes comerciales disponibles en el mercado	10
C4	Cantidad de componentes básicos.	2.5
C5	Costo de manufactura (relativo).	10
C6	Desalineación por cargas externas (ensamble del cilindro y vástago).	15
C7	Complejidad para cambio de retenedores de fluido.	2.5
C8	Complejidad de cambio de electroválvula de alivio.	5
C9	Método óptimo de lubricación (vástago).	5
C10	Estabilidad durante esfuerzos permisibles	20
C11	Facilidad de operación.	10
C12	Flexibilidad para restablecimiento	5

1.6 Elección del prototipo a manufacturar

Se realizó una matriz de evaluación (Tabla 3) en donde se encuentran todos los módulos de los prototipos analizados presentados en las matrices morfológicas. En la matriz de evaluación se comparan todas las variantes de diseño que se contemplaron. La evaluación se realizó asignándole un factor de peso a cada uno de los criterios de diseño, de acuerdo con la jerarquización definida anteriormente. Posteriormente, se le asignó a la opción de diseño un valor entre 1 y 10, considerando:

2) Inadecuado. 4) Débil. 6) Satisfactorio. 8) buena. 10) excelente.

De acuerdo a esto el valor asignado fue multiplicado por el factor de peso y se obtuvo la calificación de la opción de diseño. Finalmente, se observaron los resultados y se determinó la solución más factible para el prototipo.

Tabla 3*Matriz de decisión para selección de diseño para dispositivo de protección*

Ponderación de factores para selección de prototipo

Criterio	Ponderación	Prototipo A		Prototipo B		Prototipo C	
		Calificación	(PxC)	Calificación	(PxC)	Calificación	(PxC)
Diámetro máximo permisible	5	7	35	7	25	9	45
Disponibilidad de materia prima	10	10	100	10	100	10	100
Partes comerciales en el mercado.	10	10	100	10	100	9	90
Cantidad de componentes básicos.	2.5	10	25	10	25	8	20
Costo de manufactura (relativo)	10	10	100	8	80	8	80
Desalineación por cargas extremas	15	0	0	0	0	9	135
Complejidad de cambio de retenedores de fluido.	2.5	10	25	9	22.5	9	22.5
Complejidad de cambio de electroválvula de alivio.	5	10	50	10	50	10	50

Método óptimo de lubricación (vástago)	5	9	45	9	45	9	45
Estabilidad durante esfuerzos permisibles.	20	3	60	3	60	10	200
Facilidad de operación.	10	8	80	8	80	9	90
Flexibilidad para restablecimiento.	5	8	40	8	40	9	45
Total	100		660		637.5		922.5

2. Análisis Numérico

El modelo geométrico del dispositivo seleccionado se sometió a un análisis numérico para simular el comportamiento de los esfuerzos durante el funcionamiento. Este análisis se realizó en un software comercial de análisis por elemento finito con el propósito de evaluar la factibilidad del dispositivo durante su uso, en el caso de que los esfuerzos presentados se encuentren fuera del límite de resistencia del material, es posible realizar cambios en el diseño y materiales con el fin de asegurar el óptimo funcionamiento del dispositivo.

Para la simulación se utilizaron las siguientes propiedades mecánicas para los componentes presentados en la Figura 2.

Figura 2

Propiedades mecánicas de los componentes

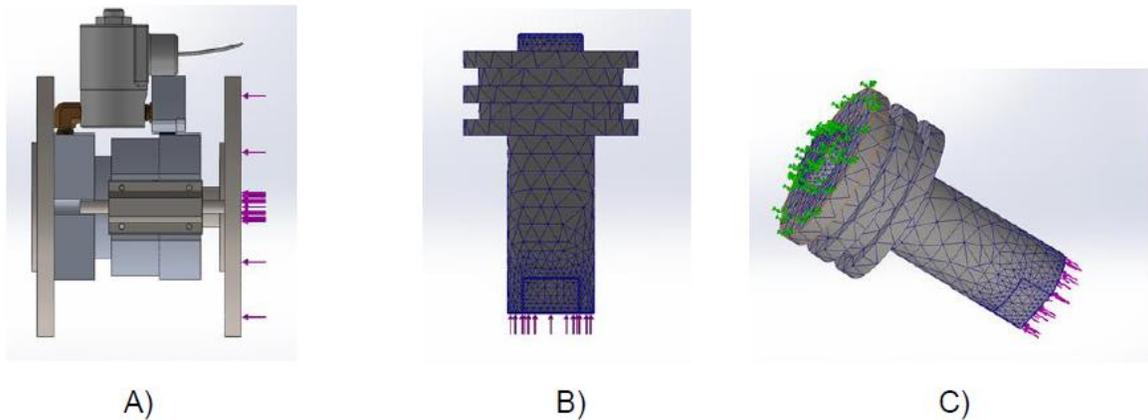
Componentes	Material	Modulo elástico (Pa)	Relación de poisson	Esfuerzo de fluencia.
Cilindro.	Acero aleado	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Vástago.	Acero aleado	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Base inferior.	Aluminio 1060	69 GPa	0.33 N/D	27.5742 MPa
Base superior.	Aluminio 1060	69 GPa	0.33 N/D	27.5742 MPa
Acoplador de herramienta.	Acero aleado	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Acoplador a base de robot.	Acero aleado	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Depósito de alivio.	Aluminio 1060	69 GPa	0.33 N/D	27.5742 MPa
Electroválvula de alivio.	Acero aleado fundido	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Rodamientos lineales.	Acero 4140 T	210 GPa	0.30 N/D	415 MPa
Guías.	Acero aleado	210 GPa	0.28 N/D	620.422 MPa
Bases para rodamientos lineales.	Aluminio 1060	69 GPa	0.33 N/D	27.5742 MPa

Se utilizó el mallado de las partes críticas del prototipo, se realizó un análisis estático de la pieza principal del sistema (vástago retráctil) debido a que este componente es el que

soporta las fuerzas de compresión. Para las condiciones de frontera se restringieron todos los desplazamientos lineales en las áreas donde se coloca el vástago del prototipo, se utilizó una carga de 1.618 kN aplicada en el fondo de la matriz en la dirección vertical como se muestra en la Figura 3 (inciso C).

Figura 3

Prototipo variante PC.



Nota: A) Modelo completo 3D, B) Mallado del elemento principal, C) Condiciones de frontera

Resultados

Considerando la metodología de diseño planteada y las especificaciones que debe cumplir el diseño conceptual del protector contra sobreesfuerzos, se procedió a la evaluación de cada prototipo de acuerdo con los valores correspondientes presentados en la tabla 4, al ser evaluado cada uno de los prototipos se observó la obtención de mayor puntuación por el prototipo variante PC, siendo este el elegido para su análisis en ANSYS y su posterior autorización para manufactura.

Tabla 4

Comparación de puntajes de las variantes propuestas

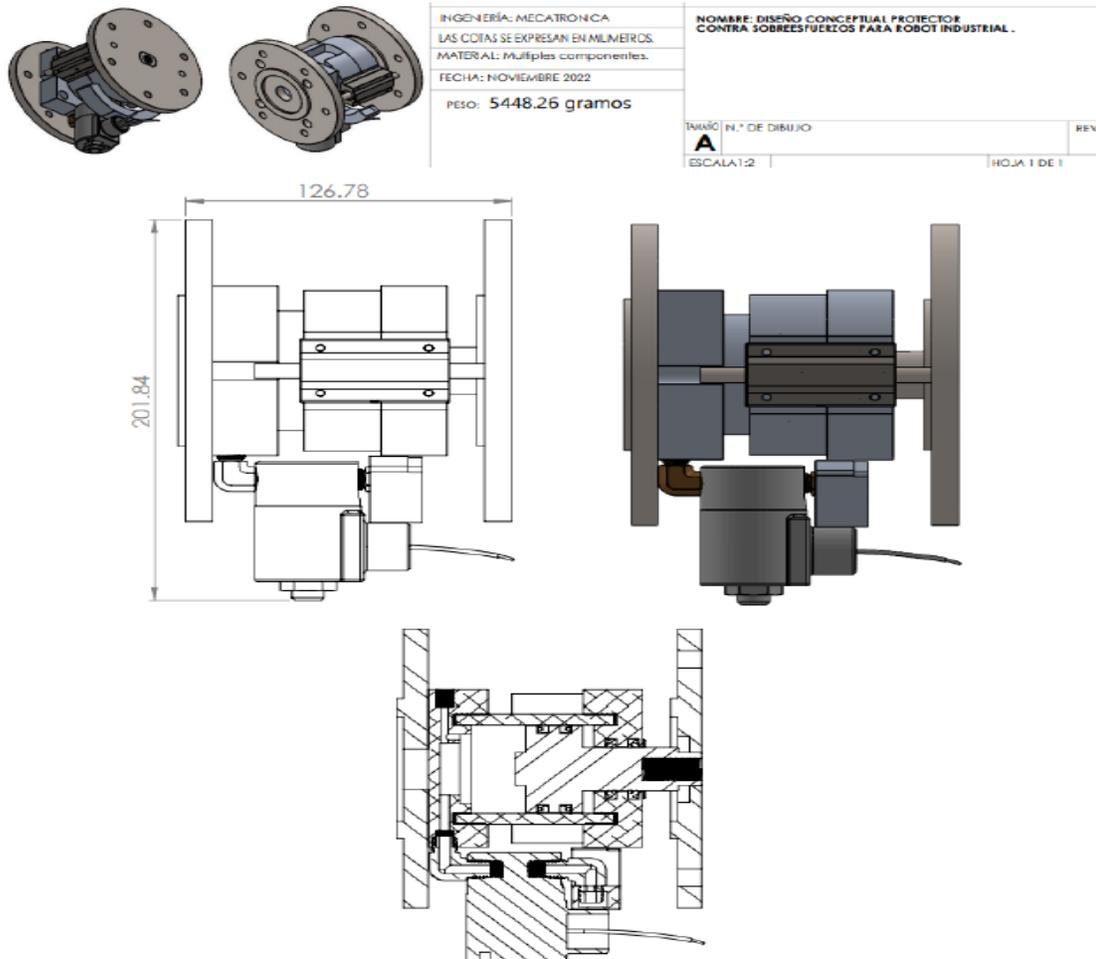
Variante	Puntaje obtenido
Prototipo A	660
Prototipo B	637.5
Prototipo C	992.5

En la Figura 4 se puede observar el plano de diseño correspondiente al prototipo C, el cual obtuvo una calificación total de 992.5, alcanzado la mayor puntuación de las

propuestas realizadas, una vez seleccionado el diseño del prototipo se procedió a realizar el modelo de análisis por elemento finito donde se encontró que los esfuerzos máximos se generaron en el vástago considerando la carga aplicada de 1.618 kN en la superficie de fondo, dichos esfuerzos se encuentran dentro del límite elástico del material, y de manera similar para la deformación de los módulos mencionados. Por lo tanto, se corroboró que el diseño seleccionado del prototipo para el protector de sobreesfuerzos en el robot industrial, no presenta problemas de deformaciones permanentes al momento de realizar su trayectoria durante del proceso de trabajo pudiéndose utilizar para las pruebas de laboratorio de manera segura.

Figura 4

Planos del diseño del prototipo seleccionado



Discusión

Por medio de la metodología descrita fue posible seleccionar un dispositivo de protección contra sobreesfuerzos para un robot industrial, que será utilizado por alumnos y docentes en el área de procesos de manufactura de los programas de ingeniero Electromecánico, ingeniero mecatrónico y manufactura.

Con el desarrollo del proyecto, además de atender la necesidad de proteger al robot durante su funcionamiento tanto para fines académicos como de investigación, se atiende a la premisa del cuerpo académico Desarrollo en Ingeniería Mecánica del departamento de Eléctrica y Electrónica, de aplicar una metodología que permita evaluar el diseño conceptual de un prototipo para la sección de análisis y posterior manufactura de la propuesta que satisfaga adecuadamente los requerimientos de diseño, esto permitirá sentar las bases para la estandarización de múltiples trabajos de investigación comúnmente desarrollados en el instituto en el área de diseño mecánico.

Una herramienta primordial en el proceso es el uso de programas de diseño asistido por computadora y software de simulación por el Método de Elemento Finito en el proceso de diseño, permiten observar resultados sobre el avance del mismo, facilitando la realización de cambios y toma de decisiones respecto a las iteraciones que existen en el proceso de diseño, antes de manufacturar cualquier pieza.

El contar con un protector contra sobreesfuerzos instalado en los robots de los laboratorios del Instituto Tecnológico de Sonora, propiciará la consolidación de una red de colaboración para satisfacer las necesidades de investigación, así como educativas. Además, los beneficios del prototipo influyen en la formación de los alumnos futuros recursos humanos de alto nivel en un área de la ingeniería de aplicaciones industriales creciente. Estos recursos podrán asimilar las tecnologías modernas, que surgen para la atención de los problemas planteados, y dar solución a estos de forma inmediata con mayor facilidad.

Referencias

American National Standard for Industrial Robots and Robot Systems (2009). Safety Requirements. RIA.

<https://www.documentcenter.com/standards/show/ANSI/RIA>

Barrientos, A. (2022). *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill

Dauchez y F.Pierrot. (2013) *Control de fuerza de un robot PUMA 560 industrial bajo restricciones ambientales: problemas de implementación y resultados experimentales*. Montpellier University.

Gutierrez, T., & Jose, J. (2010). *Diseño y simulación de una mano mecánica para ser utilizada como un efecto final robótico*. Universidad de Carabobo, Facultad de ingeniería.

Industrial Robots for Manufacturing. (2022). FANUC América.

<https://www.fanucamerica.com/products/robots>

McMaster-Carr. (2023) *Válvulas solenoides de encendido y apagado compactas de alta presión*

<https://www.mcmaster.com/solenoid-valves/high-pressure-compact-solenoid-on-off-valves/>

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (1996). *Engineering design: a systematic approach* 3. Ed. Springer.

Robert, N. (2021). *Diseño De Maquinas*. McGraw-Hill.

Capítulo 7

Mejorando la gestión del proceso de seguimiento del curso en una institución de educación superior

María Elena Espinoza Arias

Isabel Francisca Osua Acosta

Elva Lizeth Gutiérrez Mendivil

Joshinia Benitez Martínez

Resumen

Las tecnologías en la educación facilitan la gestión escolar, promoviendo colaboración y dinamismo, ejemplo de ello es que en el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui se desarrolló el presente proyecto, con el objetivo de mejorar el proceso de seguimiento del curso mediante la implementación del módulo Jefe de Proyecto en el Sistema Integral de Información para contribuir a mitigar los riesgos de reprobación y/o deserción escolar.

Para cumplir con el objetivo se siguieron tres fases: la primera fue la elaboración de un diagnóstico de la situación actual, donde se determinó a través de los indicadores de desempeño del proceso bajo estudio y un análisis FODA, las áreas de oportunidad de mejora, lo que permitió pasar a la siguiente fase, donde se generó la propuesta de mejora, misma que posteriormente fue presentada y aprobada por las autoridades del instituto, para finalmente proceder la implementación de la misma, donde se gestionó el proyecto durante todo su desarrollo, monitoreando su progreso y evaluando el cumplimiento de los indicadores de desempeño, que permitieron medir el cumplimiento del objetivo del proyecto, para finalmente hacer entrega de los productos acordados con el cliente y hacer el cierre del proyecto. Con lo anterior se logró cumplir el objetivo del proyecto, lo que evidenció la importancia de la integración de las tecnologías de la información en la mejora de los procesos, en este caso la gestión escolar del instituto, lo que permitirá implementar de manera oportuna estrategias para la detección de alumnos en riesgo de reprobación y deserción.

Palabras clave: Consultoría, gestión de proyectos, mejora de indicadores

Introducción

La educación es un derecho humano esencial y es la base para impulsar el desarrollo sostenible (UNESCO, 2017), por lo anterior en México se creó, mediante Decreto el día 23 de Julio de 2014, al Tecnológico Nacional de México, como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública, del cual depende el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui (ITVY).

Antecedentes

El ITVY cuenta con 79 docentes en siete academias, cumple lineamientos institucionales y cuenta con un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la norma ISO 9001:2015, dentro del cual se encuentra establecido el proceso actual de evaluación y acreditación, donde se establece que se requiere que los docentes entreguen la instrumentación y formatos de seguimiento antes del inicio del curso. La no entrega oportuna impide la liberación de actividades al final del semestre. Los Jefes Académicos y de Proyectos deben dar seguimiento y medir la gestión del curso de cada docente a su cargo, usando el formato Seguimiento del curso.

Dentro de los aspectos a evaluar durante el seguimiento del curso, el Jefe de Proyectos debe verificar que el docente realice la captura de calificaciones parciales, para la cual el Jefe de Proyectos de la academia de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones manifestó que, aun cuando efectúan las evaluaciones parciales correspondientes, no siempre realizan la captura en el sistema de acuerdo a la planeación del curso, además de que solamente tienen acceso a ellas cuando el docente se las hace llegar vía electrónica o física, ya que no tienen acceso a ellas por medio del Sistema Integral de Información (SII) del instituto.

Planteamiento del problema

La situación antes descrita, dificulta el análisis oportuno de indicadores que permita detectar altos índices de no acreditación, imposibilitando desarrollar estrategias para mitigar riesgos de reprobación y deserción, por lo que se plantea la pregunta: ¿Cómo mejorar el seguimiento del curso usando el Sistema Integral de Información para asegurar el cumplimiento docente y contribuir a la reducción de riesgo de reprobación y deserción?

Objetivo

Por lo anterior se planteó el objetivo de mejorar el seguimiento del curso mediante la implementación de un módulo para el Jefe de Proyecto en el Sistema Integral de Información en el Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui, para contribuir en la identificación de los alumnos en riesgo de reprobación y deserción escolar.

Fundamentación teórica

En la dinámica en las organizaciones se requiere de personas expertas que aporten su conocimiento para guiarlas y enfrentar los cambios necesarios para adecuarse a las condiciones cambiantes de su entorno, por lo que recurren a la consultoría, la cual se entiende como un servicio que prestan profesionales competentes, con la finalidad de coadyuvar a la solución de problemas y cumplimiento de los objetivos organizacionales

(Álvarez Contreras y Jiménez Lyons, 2020). Dentro de las funciones del consultor se encuentran:

- Busca el mejor curso de acción para las organizaciones, de acuerdo a sus fortalezas y oportunidades.
- Impulsa a las personas a obtener lo que en verdad quieren, partiendo de una visión clara.
- Promueve la creación de valor, para que mejoren las organizaciones, así como la calidad de vida de sus integrantes (Erguía y Rodríguez, 2021).

Es importante no perder de vista que la consultoría, aun en aquellos casos en los que se lleve a cabo una intervención considerablemente técnica, tiene implicaciones en los diversos interesados del proyecto, y debido a que regularmente estos proyectos están ligados a procesos de cambio, dichos interesados pueden manifestar resistencia al cambio, lo que es un riesgo de fracaso del proyecto.

Con la finalidad de asegurar el éxito en una intervención de consultoría, es importante seguir una metodología estructurada, como la que ofrece el Estándar de Competencia EC0249 de CONOCER (2012), cuyas etapas son:

- Diagnosticar la situación actual.
- Presentar la propuesta de solución al cliente.
- Implementar la propuesta de solución.
- Presentar el cierre de intervención al cliente.

Cuando se lleva a cabo un diagnóstico, con la finalidad de que éste sea exitoso, se debe tener por parte del cliente la disposición al cambio y su respaldo durante este proceso, además de que debe facilitar los medios necesarios para la recopilación de la información necesaria. Por parte del consultor se debe manejar la información de manera confidencial, y presentar al cliente retroalimentación del diagnóstico (Portugal, 2017).

Para realizar un diagnóstico organizacional, se pueden utilizar diversas herramientas que ayudan a analizar y evaluar distintos aspectos de la organización. Algunas de las herramientas más comunes incluyen:

- Análisis PESTEL, acrónimo que representa los factores Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal, esta herramienta permite a las organizaciones identificar cómo estos factores que pueden afectar a la institución en el presente y en el futuro (Amador, 2022).
- Análisis FODA, permite hacer una evaluación de la situación actual de la organización, con base en sus fortalezas y debilidades, e identificando las oportunidades y amenazas de

su contexto (Sánchez, 2020), por lo anterior, el análisis PESTEL y FODA se pueden complementar en el análisis del entorno organizacional.

Una vez realizado el diagnóstico, se debe proceder al diseño de la propuesta solución, para la cual, en concordancia con el PMBOK (Project Management Institute, Inc., 2021) y Bataller (2016), para el diseño y la implementación de una propuesta de proyecto se pueden emplear las siguientes fases:

- a) Definición de proyecto, donde se determina la necesidad a ser atendida, el objetivo, así como la viabilidad del proyecto, considerando los recursos humanos, técnicos y económicos necesarios.
- b) Planificación y diseño, aquí se establecen las actividades específicas que se deben llevar a cabo para implementar la solución propuesta, las partes interesadas, que pueden ser tanto internas como externas a la organización.
- c) Gestión de proyecto, dentro de esta fase se ejecutan las actividades de seguimiento y control de las tareas previamente programadas, con lo cual controlar los impactos por aquellas desviaciones a la planeación inicial.

En este punto se debe tener en cuenta que el recurso humano es quien desarrolla el proyecto, desempeñando las actividades necesarias para cumplir con el objetivo y entregables del mismo, por lo que es de suma importancia que el responsable de proyectos logre coordinar a todos los involucrados e interesados en el desarrollo del mismo.

Esta fase es crítica para cumplir con los objetivos del proyecto, ya que el director del proyecto deberá ayudar al equipo a eliminar obstáculos y resolver problemas que se les presenten, proteger de desviaciones, tanto internas como externas, que los alejen del cumplimiento del objetivo, así como motivarlos y recompensarlos por su desempeño.

- d) Gestión documental, donde se determina el origen, destino y contenido de los documentos que se generen durante el desarrollo del proyecto, tomando en cuenta que también pueden existir entregables del proyecto de tipo documental, mismos que pueden presentar entrega única, múltiple o periódica.

- e) Gestión de la calidad, mediante esta etapa se determinará si los resultados tanto intermedios como finales cumplen con los compromisos planteados con el cliente y contribuyen al cumplimiento del objetivo del proyecto.

Método

El presente estudio es una investigación aplicada de tipo cuantitativa, cuyo objeto bajo estudio fue el proceso del módulo de Jefe de Proyecto en el SII para el seguimiento del curso, por lo que se utilizaron como materiales:

- Microsoft Excel para graficar la información recopilada sobre los indicadores de desempeño del proceso bajo estudio.
- PHP, Java Script, Dreamweaver, se emplearon para el desarrollo el módulo de Jefe de Proyecto.
- Sistema Integral de Información del instituto, donde se integró el módulo desarrollado.

El procedimiento empleado en el estudio se dividió en tres etapas: Diagnóstico, Propuesta y la Gestión del proyecto.

Elaborar diagnóstico: en esta etapa se definió el indicador que permitieron evaluar el cumplimiento de la captura de calificaciones, después se analizó un periodo con el fin de obtener estadísticas que servirían para medir los resultados tras la implementación las mejoras, luego se procedió a realizar un análisis FODA del proceso actual.

Presentar propuesta: para lo cual primero se integró la propuesta de proyecto, donde se incluyó el análisis detallado de la situación actual en relación con el seguimiento de la gestión del curso con respecto a la captura de calificaciones, destacando las áreas de mejora, también se describieron los aspectos a automatizar en el SII, así como los recursos necesarios y productos a entregar al instituto al finalizar el proyecto, para posteriormente ser presentada la propuesta a las autoridades de la institución.

Gestionar proyecto: una vez aprobada la propuesta, se elaboró y firmó el acta constitutiva del proyecto, donde se señalaron las partes interesadas, los recursos a emplear, así como el diagrama de Gantt. En la etapa de procesos de ejecución, se dirigió, gestionó e implementó la propuesta, mientras se monitoreaba el progreso del proyecto, evaluando el cumplimiento de los indicadores de desempeño del proceso bajo estudio. Finalmente se agendó la reunión para realizar la entrega formal del proyecto, donde se mostraron los resultados de la evaluación del éxito del mismo, en relación con los objetivos establecidos y se entregaron los manuales de usuario.

Resultados

Elaboración de diagnóstico: Se definió primeramente el indicador de desempeño del procedimiento de Seguimiento de curso, como se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1

Definición de indicador de captura de calificaciones en el SII

Indicador:	Captura de calificaciones en el SII
Descripción:	Se considera cuando un docente cumple con las siguientes características:

Evalúa el curso con apego a lo establecido tanto en el normativo vigente correspondiente para la acreditación de asignaturas, como los criterios definidos en la instrumentación didáctica del curso, y realiza la captura de las calificaciones de la competencia evaluada en el Sistema Integral de Información.

Periodicidad: Al finalizar cada unidad de competencia, de acuerdo a la planeación del curso.

Responsable: Jefe de proyectos docentes

Fuente de Docente

información:

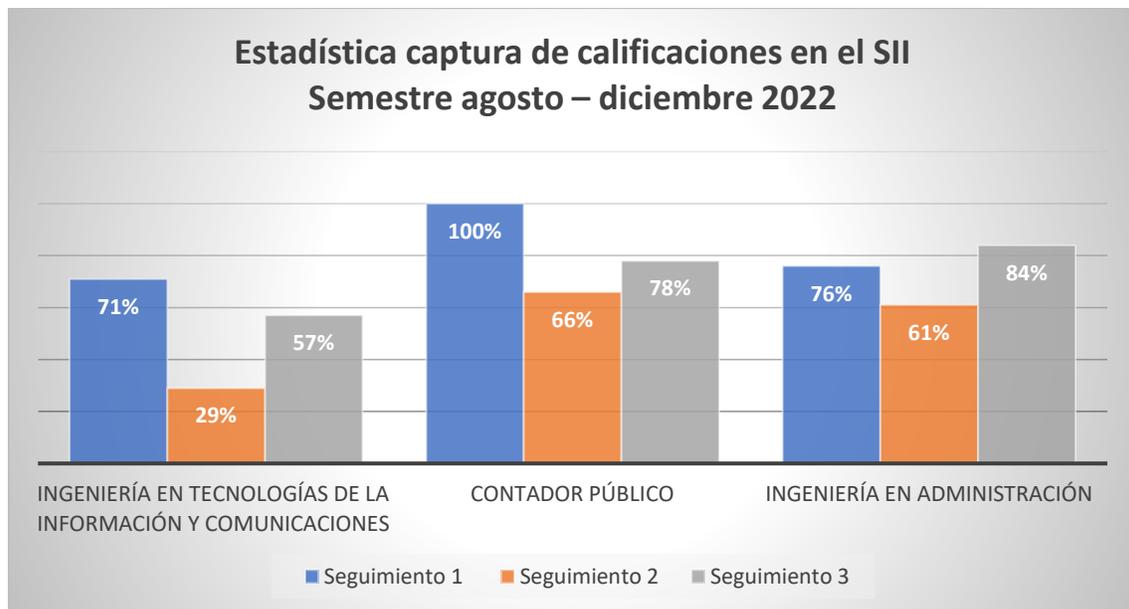
Impacto Identificación de alumnos en riesgo, por altos índices de no acreditación.

Fuente: Elaboración propia con datos de la organización (2023).

Posteriormente se procedió a la recopilación de la información necesaria para calcular el valor actual del indicador de desempeño asociado al proceso bajo estudio. Para esto, se utilizó la información contenida en los reportes que los Jefes de Proyectos de tres academias (Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Contador Público, e Ingeniería en Administración), enviaron a los Jefes Académicos (ver Figura 1).

Figura 1

Captura de calificaciones en el SII: agosto-diciembre 2022



Fuente: Elaboración propia con datos de la organización (2023).

De acuerdo a la Figura 1 se identificó que en el periodo de seguimiento 2, en las tres academias se presentó un menor porcentaje de cumplimiento en la captura de calificaciones en tiempo y forma, mientras que en el último seguimiento incrementó en las tres academias, sin embargo es lógico observar el incremento, dado que al finalizar el semestre escolar, aún si no se realizó la captura de calificaciones en el periodo indicado en la planeación, ésta se realiza al finalizar el semestre, que es el periodo de tiempo al que corresponde el último seguimiento.

Después de conocer el comportamiento de la captura de calificaciones, se realizó un análisis FODA (ver Figura 2), con la información proporcionada por parte de los Jefes de Proyectos y los docentes, quienes colaboraron en determinar las áreas de oportunidad de mejora, para ser consideradas en la propuesta a presentar al cliente.

Figura 2

Análisis FODA

ANÁLISIS EXTERNO	<p>Oportunidades</p> <p>1. Automatización del seguimiento del curso del procedimiento de la Gestión del curso del SGC.</p> <p>2. Mejorar el interés de los docentes para el cumplimiento en el proceso del seguimiento del curso.</p>	<p>Amenazas</p> <p>1. Reprobación</p> <p>2. Deserción escolar</p> <p>3. Baja matrícula</p>
ANÁLISIS INTERNO		
<p>Fortalezas</p> <p>1. Existe un proceso del SGC definido para gestión del curso y dar el seguimiento oportuno al programa de las asignaturas.</p> <p>2. Se cuenta con un Sistema Integral de Información para la administración y gestión del historial académico de los estudiantes.</p>	<p>Estrategias (FO)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar un módulo del seguimiento del curso en el sistema integral de información. 	<p>Estrategias (FA)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generar estadísticas de estudiantes acreditados, no acreditados y no evaluados.
<p>Debilidades</p> <p>1. El no cumplimiento del docente con la entrega del seguimiento del curso en los tiempos establecidos</p> <p>2. El no reportar calificaciones en el Sistema integral de información según la planeación en el procedimiento de la Gestión del Curso</p> <p>3. La oportuna revisión y análisis del seguimiento del curso.</p>	<p>Estrategias (DO)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacitar a los docentes en el uso y concientizarlos en los beneficios del módulo de creado. 	<p>Estrategias (DA)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integrar a los docentes en el desarrollo de estrategias que permitan la no reprobación y no deserción escolar

Fuente: Elaboración propia con datos de la organización (2023).

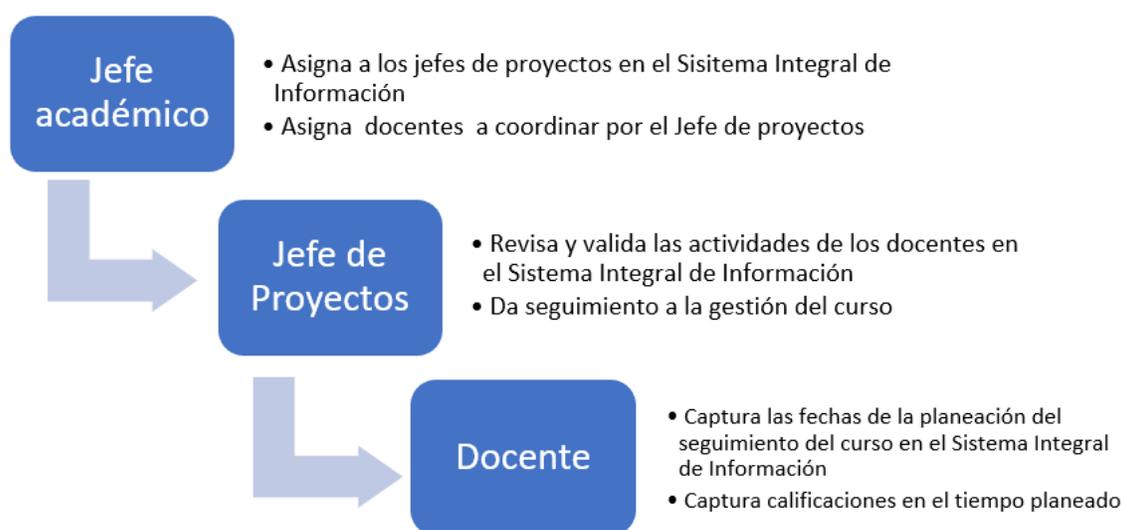
Las diferentes estrategias que se muestran en la Figura 2, se consideraron al integrar la propuesta de proyecto, en la cual se indicaron las necesidades de: cumplimiento en la captura de calificaciones por parte del docente, lo que forma parte del seguimiento del curso, contar con estadísticas de alumnos acreditados, no acreditados y no evaluados.

Como áreas de oportunidad se estableció la automatización del seguimiento del curso, el monitoreo en tiempo real, y el contar con información oportuna para la toma de

decisiones. También se determinaron los aspectos principales en la automatización, como lo es la integración del módulo al SII, generación de informes e implementación de notificación, y se identificaron los actores del sistema y sus principales actividades (ver Figura 3).

Figura 3

Actores y sus actividades

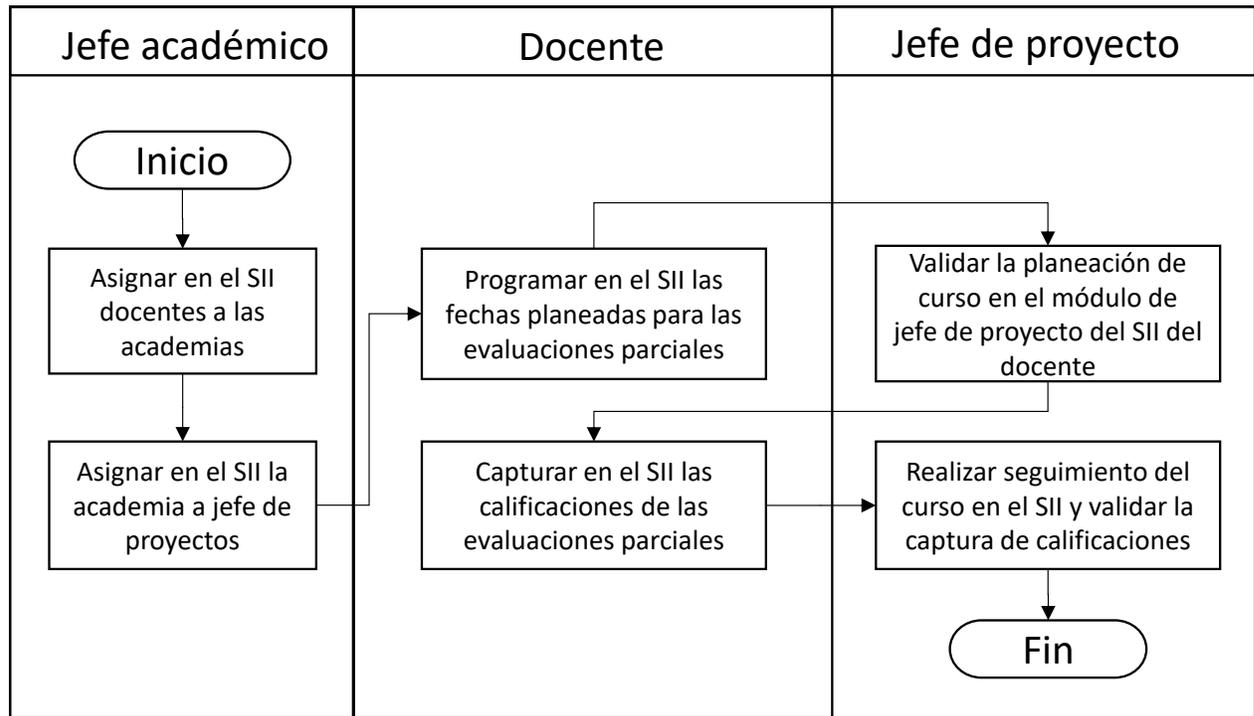


Fuente: Elaboración propia (2023).

Para el diseño del módulo se tomó en cuenta la secuencia de las etapas del procedimiento para la gestión del curso, en las que intervienen los actores mencionados en la Figura 3, y se tomó solo lo necesario para su desarrollo de la propuesta, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Procedimiento Módulo Jefe de Proyectos en el SII

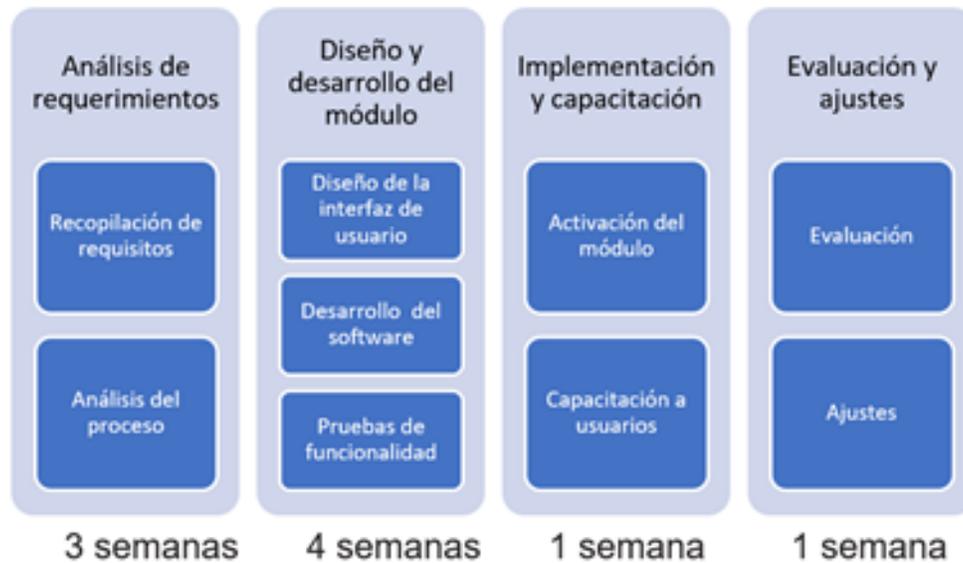


Fuente: Elaboración propia (2023).

Los recursos necesarios, presentados en la propuesta para el desarrollo del módulo fueron: acceso a los datos y al sistema de información existente, colaboración del personal docente y administrativo (partes interesadas), espacio para capacitaciones y pruebas, y personal del instituto experto en el desarrollo de software. Con todo lo anterior se establecieron las actividades para el desarrollo del módulo, así como el tiempo requerido en cada etapa, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Etapas del proyecto



Fuente: Elaboración propia (2023).

Después se convocó a reunión con los involucrados en el proceso, donde se presentó la propuesta de desarrollo del módulo de Jefe de Proyectos y se mostraron las etapas establecidas (ver Figura 5) para su aprobación. Una vez aprobada la propuesta y concedidas las facilidades para el desarrollo del proyecto, dio inicio el día 5 de junio de 2023.

Durante las tres primeras semanas se llevaron a cabo las actividades del análisis de los requisitos, los cuales permitieron obtener información necesaria para la elaboración del módulo de Jefe de Proyectos. Posteriormente, se dedicaron cuatro semanas al diseño y desarrollo del módulo abarcando las tareas de diseño de interfaz de usuario, desarrollo del software y pruebas de funcionalidad. Estas etapas sentaron las bases para la fase de implementación y capacitación.

Aunque inicialmente se había planeado que la fase de implementación y capacitación durara una semana se extendió una semana adicional debido a la disponibilidad del personal del plantel. Finalmente, se llevó a cabo la evaluación y ajustes finales durante la última etapa, la cual concluyó en la semana establecida al inicio del proyecto.

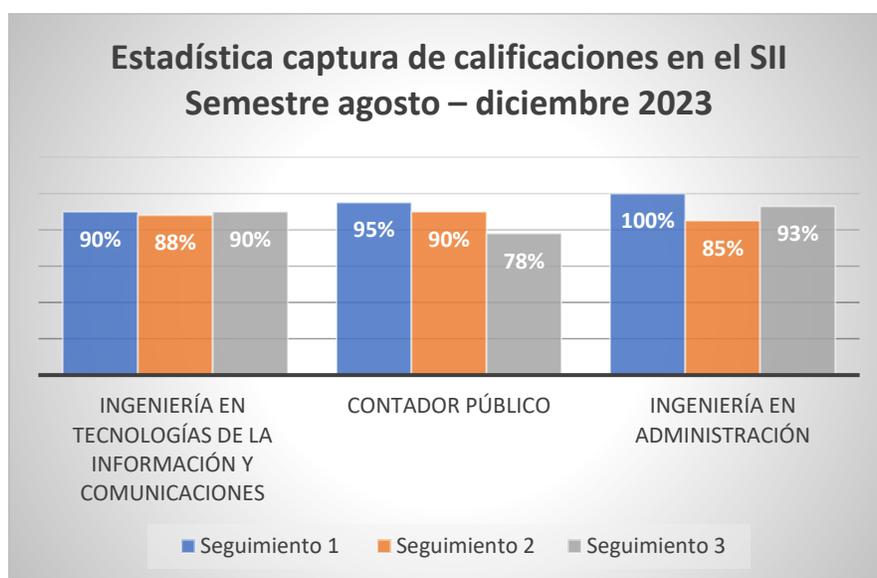
Lo anterior se logró gracias a que en el grupo de procesos de ejecución se llevó a cabo la dirección del proyecto gestionando se cumpliera con lo establecido en los requisitos,

coordinando las actividades y sobre todo gestionando los riesgos que pudieran surgir durante, dónde solo hubo retraso de una semana en la capacitación, mismo que no generó inconvenientes en el proceso.

La Implementación fue transparente para los usuarios, la capacitación a los usuarios fue rápida y entendible para cada uno de ellos, su uso y adaptación al cambio fue aceptable. Para la evaluación de indicadores se midió el semestre agosto – diciembre 2023, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Captura de calificaciones en el SII: agosto-diciembre 2023



Fuente: Elaboración propia con datos de la organización (2023).

Como se observa en la Figura 6, el implementar el uso del módulo de Jefe de Proyecto, contribuyó al incremento en la captura de calificaciones en el semestre agosto-diciembre 2023, obteniendo un 90%, comparado con el 69% del semestre agosto-diciembre 2022.

Conclusiones

Al finalizar el estudio se logró cumplir con el objetivo del mismo, ya que ahora el instituto cuenta con un módulo dar seguimiento al curso, además de que permitirá generar reportes para la identificación de alumnos en riesgo de reprobación y deserción, con lo que se podrán tomar acciones preventivas, contribuyendo así a la permanencia y posterior egreso de los alumnos del instituto. En este proyecto se puede identificar claramente el potencial que

tiene la integración de las tecnologías de la información y comunicación para la gestión en las organizaciones. Se recomienda que para el desarrollo de proyectos similares tener en cuenta la importancia de lograr la integración de los diferentes interesados del proyecto, y no sólo del cliente, lo cual contribuirá de manera significativo en el éxito de cualquier proyecto a desarrollar.

Referencias

- Álvarez, D. E., y Jiménez, K. A. (2020). La consultoría y asesoría: aliada estratégica para el fortalecimiento empresarial de las MiPyMEs en Colombia. (U. d. Nariño, Ed.) *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*.
- Amador, C. Y. (2022). El análisis PESTEL. UNO Sapiens Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 1. (U. A. Hidalgo, Ed.) 4(8).
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/download/8263/8494/>
- Bataller, A. (2016). *La gestión de proyectos*. Editorial UOC.
- CONOCER (2012). *Estándar de Competencia EC0249 Proporcionar servicios de consultoría general*. México. Consultado el 15 de abril de 2024 de <https://www.uttt.edu.mx/ecec/Estandares/EC0249.pdf>
- Eguía, J. C., y Rodríguez, C. (2021). *El aliado estratégico. la consultoría organizacional con visión sistémica*. ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara.
- Portugal, V. (2017). *Diagnóstico Empresarial*. Fundación Universitaria del Área Andina.
<https://core.ac.uk/download/pdf/326423305.pdf>
- Project Management Institute, Inc. (2021). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos* (Guía del PMBOK) – Séptima edición. Newtown Square.
- Sánchez, D. (2020). *Análisis FODA o DAFO*. Bubok publishing S.L.
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals - Learning Objectives*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>

Apéndice

Instrucciones de uso del SII para uso del módulo de Jefe de Proyectos.

La información extraída del manual de usuario: jefe académico:

Usuario jefe académico

Al entrar al Sistema Integral de Información, después de haber accedido con tu usuario y contraseña, dirígete a:

Documentos de certificación/alta jefe de proyectos

Una vez en la página seleccione al profesor que será jefe de proyectos y dar click en asignar, inmediatamente después aparecerá en tu lista como se muestra en figura No. 1

ALTA JEFES DE PROYECTO

RFC: -- Seleccione un profesor --

ASIGNAR CANCELAR

Docentes asignados como jefe de proyecto

RFC	Nombre	Área
04022101978	ESTHER FERRERA GARCIA CABRILLAS	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS
04022101978	ISABEL ZOLA RAMIREZ PUELLA	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS
04022101978	DAIANA NECTE LOPEZ CARAYATES	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
04022101978	BERNARDINO SANCHEZ LOPEZ RUIZ	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
04022101978	LUIS MARTIN VALENZUELA GARCIA	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
04022101978	ISABELLE RIVET NICOLE YVES FERREREA	DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
04022101978	FRANCISCO CADENA CADENA	DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS
04022101978	ISABELA ALCANTARA HERRERA BARRAZA	DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS
04022101978	JOSE ALFREDO LEYVA POVEDA	DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS

Figura No. 1. Asignar docentes a jefes de proyecto

Una vez asignados los docentes, entrar al menú Documentos de certificación/Alta de docentes a jefe de proyectos, en ese apartado podrás seleccionar a los docentes a cargo del jefe de proyectos, ver figura No. 2.

ALTA DE DOCENTES A JEFES DE PROYECTO

RFC: -- Seleccione un profesor --

ASIGNAR CANCELAR

Docentes asignados a jefes de proyecto

RFC	Nombre	FECHA ASIGNACION	ACCION
04022101978	MARCO ALBERTO LOPEZ ENCINAS	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar
04022101978	ISABEL FRANCISCA ORJUELA BOCOTA	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar
04022101978	IVAN GUADALUPE POLANCO VALENZUELA	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar
04022101978	CARLOS BERNARDO STIVAL BRICEÑO	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar
04022101978	LETICIA VELA FALCÓN	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar
04022101978	ANTONIO VILLACABA BOTELLO	Sep 20 2023 9:44AM	eliminar

Figura No. 2. Asignar docentes a jefes de proyecto

La información extraída del manual de usuario jefe de proyectos:

Usuario Jefe de proyectos

Al entrar al Sistema Integral de Información, después de haber accedido con tu usuario y contraseña, dirígete a:

Documentos de certificación/jefe de proyectos como se muestra en la figura No. 3



Figura No. 3. Módulo jefe de proyectos

Al entrar al módulo de jefe de proyectos le aparecerá la lista de docentes asignados a su coordinación, para acceder a la carga de materias y seguimiento del curso, de click en el docente que desea revisar: (figura No. 4)



Figura No. 4. Módulo jefe de proyectos

Una vez en el espacio del docente aparecerán las materias a asignadas, número de estudiantes por materia y el progreso de la gestión del curso, además de los porcentajes de acreditados, no acreditados y no evaluados, también tendrá acceso a información referente al retraso en la captura de calificaciones, como se muestra en la figura No.5.



Figura No. 5. Módulo jefe de proyectos

La información extraída del manual de usuario del docente:

Manual del docente

Al entrar al Sistema Integral de Información, después de haber accedido con tu usuario y contraseña, dirígete a:

Documentos de certificación/calificaciones parciales como se muestra en la figura No. 6.



Figura No. 7. Menú captura de calificaciones parciales

Una vez en este espacio, se te mostrará las materias cargadas en tu semestre, grupos, número de estudiantes y la opción para calendarizar las fechas de gestión de curso, además de mostrarte el avance del seguimiento de captura de calificaciones según lo planeado.

Para agendar el seguimiento del curso, da un click en el calendario, ver figura No.8.



Figura No. 8. Información de carga académica docente

Una vez seleccionada la materia te aparecerán las unidades de competencia a evaluar para que calendarices las fechas de evaluación, así como información del grupo, como el número de estudiantes, alumnos aprobados, alumnos reprobados, alumnos no evaluados y las estadísticas según las evaluaciones realizadas.

Una vez asignadas las fechas das click en actualizar fechas como se muestra en la figura No. 9. En este mismo espacio podrás hacer la captura de calificaciones como ya lo has venido realizando.

PLANEACIÓN DE EVALUACIÓN

Docente: 04022101978
 Fecha de actualización: 2023-09-20 10:44:13
 Fecha de inicio de gestión: 2023-09-20 10:44:13

Competencia	Fecha	Calificación	Alumnos	Alumnos	Alumnos	Alumnos	Alumnos
1	2023-09-20	100%	10	10	0	0	0
2	2023-09-20	100%	10	10	0	0	0
3	2023-09-20	100%	10	10	0	0	0
4	2023-09-20	100%	10	10	0	0	0
5	2023-09-20	100%	10	10	0	0	0

Figura No. 9. Planeación de fechas de evaluación de unidades de competencias.

Capítulo 8

Evaluación de la depresión en estudiantes de nivel medio superior post pandemia

Jesús Manuel Vidaña López

Ricardo Ernesto Pérez Ibarra

América Aracely Pérez Dueñas

María Fernanda Durón

Resumen

La pandemia epidemiológica del virus COVID 19, nos llevó a vivir una realidad inesperada, y para la cual no existían protocolos de cuidado físico, mental y social. Lo que llevó a la toma de decisiones abruptas como el confinamiento de un momento a otro, sin preparación ni mucho menos la capacidad emocional para enfrentar dicha realidad. Los niños y adolescentes fueron los más afectados en diversas formas sobre todo en la salud mental. El adolescente por su etapa del desarrollo decae anímicamente cuando el aspecto social y de aceptación es carente al no tener contacto con iguales. El presente estudio evalúa la depresión por medio del inventario de depresión de Beck en adolescentes de 15 a 18 años, que cursan la educación media superior, todos ellos vivieron el confinamiento. Se pretende medir los niveles de depresión presente en ellos a consecuencia del aislamiento por pandemia. Dando como resultado que más del 40% de ellos se encuentran en depresión moderada y grave, lo que tiene como consecuencia una afectación en la vida académica, en sus competencias sociales y emocionales. Hemos salido del confinamiento físico, pero quizás no del mental. Estamos enfrentando como consecuencia el aumento de trastornos mentales fruto de la pandemia del COVID 19. La importancia del estudio radica en la relación que existe entre depresión en los adolescentes quienes cursan la educación media superior. La depresión está sumamente relacionada también con el aumento de suicidio en adolescentes y la deserción escolar de la educación media superior. El conocer estos datos ayuda a realizar una mejor detección en nuestra población estudiantil e intervenir eficazmente para contrarrestar los efectos indeseados como la deserción y el suicidio en la adolescencia. Quedando a discusión cuáles son esos factores que están llevando a la depresión a los jóvenes adolescentes.

Palabras clave: Evaluación, adolescentes, media superior, post pandemia, depresión

Introducción

Antecedentes

La pandemia por COVID-19 ha afectado a casi 1.600 millones de alumnos en más de 190 países de todo el mundo. Los cierres de instituciones educativas han afectado al 94% de los alumnos del mundo, que asciende al 99% en países de bajo y mediano ingreso (Naciones Unidas, 2020). En el año 2020 al enfrentarnos en este evento insólito, pudimos

constatar que nada está en nuestro control. Producto de una dinámica social, sumamente demandante, incansable e imparable.

La suma de lo anterior dice el filósofo Byung-Chul Han en su libro de la sociedad del cansancio (2022) presenta a un ser humano agotado que es constantemente devorado por su propio ego, es víctima y verdugo a la vez, y su libertad es una condena de auto explotación, auto exigencia ha llevado al ser humano a una constante hiperactividad por el cúmulo de competencias que se exigen para lograr el denominado éxito de la época en los adolescentes, por lo que la pandemia fue un golpe fuerte, sobre todo, para aquellos que no enfrentaban los límites de los espacios como los niños y los jóvenes adolescentes (Requena, 2024).

Los adolescentes se enfrentaron a un cambio de rutina inmediato, y fueron afectados en 5 cosas muy importantes según EL Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) de Paraguay, cambios en su estado de ánimo por la falta de convivencia con los pares, falta de contacto con amigos, no intimidad o lugar donde esconderse, sumergiéndose más en la tecnología, y la generación de factores de riesgo a causa de la falta de control de impulsos.

El éxito o fracaso ante estas situaciones se vuelve un factor de riesgo más común para la ansiedad y la depresión (Caiminagua & Torres, 2023). En tiempos de post pandemia, nos enfrentamos en el ámbito escolar media superior a jóvenes apáticos, cansados, sin ánimos de salir de sus casas, con gran ausentismo en ámbitos escolares incluso de diversión como fiestas, reducido a grupos sumamente pequeños, irritables con más problemas para socializar de forma sana. Y dependientes totalmente de la tecnología al igual que las redes sociales (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020)

La situación general en los países y sus localidades ha afectado el día a día de las personas jóvenes pues 46% reporta tener menos motivación para realizar actividades que normalmente disfrutaba. 36% se siente menos motivada para realizar actividades habituales.

En este periodo de crecimiento que precede a la edad adulta, el adolescente está desarrollando su propia personalidad y está en busca de más independencia y responsabilidad (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2022). Pero al verse limitadas estas necesidades forzosamente como lo fue la pandemia, genera un alto índice de frustración y crisis emocional.

La adolescencia se define según Espinosa y Luis (2004) como una etapa de transición entre la niñez y la adultez, caracterizada por procesos específicos, propios e irrepetibles, con gran intensidad de los afectos y vivencias; de transformaciones importantes y de presión social para lograr metas específicas. Al respecto hay que decir que estos procesos se dan siempre en una determinada cultura, lo que define en cierta medida sus características específicas y su duración.

Lo que más caracteriza al adolescente es la situación de crisis en la que se encuentra el ser humano durante esta etapa del desarrollo, pero aunado a una vivencia como COVID 19, puede haber sido causante de un conjunto de variables que pudieran ser un caldo de cultivo para una depresión en la adolescencia. Un estudio realizado en adolescentes en pandemia en el 2021 encontró una correlación entre que la adicción a sustancias, abuso de los videojuegos, en adolescentes que usaban medicamentos a causa de la ansiedad y depresión. Generalmente la separación del contacto con otros iguales, o su éxito o fracaso dentro del ámbito social genera un malestar emocional que va desde la tristeza hasta otras emociones y reacciones más complejas. Lo anterior afecta de manera concreta la autoimagen, y la autoestima por consecuencia, llega a desarrollar otros problemas más complejos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015).

Antes de la pandemia los médicos de Atención Primaria que valoran adolescentes en su práctica diaria frecuentemente se enfrentan a motivos de consulta relacionados con cansancio permanente, agotamiento, somnolencia excesiva y fatiga, ya sea referidos por el paciente o por sus padres o cuidadores. Es importante diferenciar si el adolescente que manifiesta «estar cansado», se refiere a la presencia de somnolencia excesiva o a fatiga; esto con el fin de realizar un enfoque y manejo adecuado, pues el abordaje será diferente en cada situación. Las causas o factores estresantes que se han encontrado son; disfunción familiar, problemas maritales, afecto negativo materno, violencia intrafamiliar, pobreza, etc. como factores de riesgo para sueño insuficiente en los adolescentes (Villamil, 2020). Pero después de la pandemia todo lo anterior se volvió aún más complicado en la vida de los adolescentes.

Los trastornos de salud mental en la adolescencia pueden ir de la mano de otros peligros para la salud y el comportamiento, como el consumo de alcohol y drogas, la conducta violenta y las prácticas sexuales de riesgo (Miller, 2019).

Presentando la importancia del tema en la medición de la depresión en adolescentes, y como impacta sus vidas después de la pandemia en su vida familiar, social y académica, se identifican los factores de prevención más importantes para ayudarlos

fortaleciendo sus redes de apoyo como su escuela, su familia y sus amigos, se favorece la salud mental y evitan las conductas negativas, según la Comisión Nacional contra las Adicciones (CONADIC, 2022), como el consumo de drogas, violencia, dependencia emocional, lesiones, e incluso cuando el problema se acentúa, ideas suicidas, retomando que en México el índice de suicidio en adolescentes es muy alto.

Durante la pandemia un estudio realizado en Guerrero, por Oliva y Quevedo (2022), en un bachiller con 177 alumnos de quinto semestre presentaron los siguientes resultados, 85 (48.02%) estudiantes no presentaron indicadores de depresión; sin embargo, 35 de ellos (19.77%) presentaron depresión leve; 38 jóvenes (21.46%) mostraron síntomas de depresión moderada y 19 alumnos (10.73%) mostraron depresión grave. En ese sentido, 57 estudiantes, el 32.20%, proyectaron pensamiento suicida, de los cuales, 47 de ellos (26.56%), refirió haber tenido pensamientos de quitarse la vida, pero que no lo haría; cinco más, manifestaron que querían matarse (2.82%) y otros cinco alumnos (2.82%) expresaron que se matarían si tuvieran la oportunidad de hacerlo (Quevedo y Oliva, 2022).

Los expertos en salud mental afirman que la pandemia ha aumentado los casos de ansiedad y depresión en la población en general, además de otros trastornos como los Trastornos de la Conducta Alimentaria y las adicciones, también los suicidios han ido en aumento (Begoña, 2022).

Antes de la pandemia, casi mil millones de personas ya sufrían algún trastorno mental diagnosticable, el 82% de las cuales vivían en países de renta baja y media, Desde entonces, la pandemia del COVID-19 ha afectado a la salud y bienestar mental de muchas más personas, Se calcula que la pandemia ha incrementado entre un 25 % y un 27 % la prevalencia de la depresión y la ansiedad a escala mundial (Kestel, 2022).

Un estudio del Instituto Mexicano de la Juventud (IMJUVE) realizado en el 2022, informó que durante la pandemia tres de cada cinco jóvenes mostraron síntomas de depresión y 57 por ciento, ansiedad, dos semanas antes de la encuesta realizada por Population Council. Respecto a la salud mental, siete de cada 10 adolescentes y jóvenes experimentaron síntomas depresivos, mientras que 62 por ciento dijo tener síntomas de ansiedad, sobre todo mujeres.

La depresión es un trastorno mental, que se caracteriza por la presencia de tristeza, pérdida de interés o placer, sentimientos de culpa, trastornos del sueño o del apetito, además de sensación de cansancio y falta de concentración, por lo que puede conllevar a complicaciones graves como el aislamiento social y sentimientos suicidas (intentos o

suicidio) según al Manual de Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales quinta edición (DSM V) (American Psychiatric Association, 2014).

En este contexto, la depresión como trastorno psicológico afecta diversas dimensiones del ser humano. En el caso de la dimensión somática – motivacional, la depresión se manifiesta con síntomas relacionados con alteraciones fisiológicas, sobre todo afectación del sueño y el apetito (pueden aumentar o disminuir); así también a la presencia de síntomas como llanto, agitación, pérdida de energía, cansancio o fatiga, pérdida de interés en el sexo, falta de voluntad, por lo que va reduciendo la motivación en la realización de sus actividades cotidianas.

El adolescente que sufre un trastorno mental como la depresión, sufre por que distorsiona la realidad (triada cognitiva) teniendo una imagen negativa de sí mismo, de su futuro y del mundo (Beck et al., 2010).

Los adolescentes con depresión pueden tener problemas en la escuela o una baja autoestima o pueden estar callados, frustrarse fácilmente o sentirse intranquilos. También pueden tener síntomas de otros trastornos, como ansiedad y trastornos de la alimentación, déficit de atención con hiperactividad, o consumo de drogas. Los niños más grandes y adolescentes tienen una mayor probabilidad de sufrir de somnolencia excesiva (llamada hipersomnía) y un mayor apetito (llamado hiperfagia). En la adolescencia, las niñas comienzan a tener depresión con mayor frecuencia que los niños. Es posible que esto se deba a factores biológicos, hormonales y de ciclo vital que son únicos en las mujeres (Instituto Nacional de la Salud Mental [NIMH], 2024).

En cuanto al nivel de depresión en referencia a la dimensión cognitivo-afectiva, los resultados permiten evidenciar que un 36,7% de los adolescentes presentan una depresión mínima, el 43,3% depresión leve, el 18,3% depresión moderada y un 1,7% depresión grave (Caiminagua & Torres, 2023).

Las causas más comunes de depresión en adolescentes pueden ser distintas, pero no existe una causa única, ya que la depresión puede ser por causa multifactorial. Hoy en día se considera que la depresión es un fenómeno complejo y entre las principales causas en adolescentes encontramos: Desequilibrio hormonal: cambios o inestabilidad hormonales. Antecedentes heredofamiliares con temas de depresión. Desregulación neurotransmisora: deficiencias en la química cerebral. Factores psicológicos: Situaciones de estrés y ansiedad (duelos, cursar alguna enfermedad significativa, situaciones de abuso físico o emocional, conflictos psicológicos durante la infancia, por citar algunos.). Sobre todo, en este último punto, la pandemia fue una mezcla de los diversas situaciones personales, hormonales,

familiares que llevaron a los jóvenes a duelos sin resolver y enfrentar situaciones familiares de las que no tenían fácil escape (OMS, 2023).

Planteamiento del problema

Es normal que los adolescentes tengan fluctuaciones del estado de ánimo, pero el cumulo de muchos de estos síntomas todos los días por al menos dos semanas, podría ser depresión. Por eso es tan importante que todos los adolescentes se hagan la prueba para detectar la depresión (Oficina para la Salud de la Mujer [OASH], 2023).

Cuando la depresión moderada y grave se presenta en adolescentes, las ideas suicidas son parte de la comorbilidad del trastorno mental en esos niveles. Por lo que la depresión está muy ligada a los indicios de intentos suicidas y suicidios en adolescentes.

Los suicidios de jóvenes aumentaron en el primer año de la pandemia, indica un estudio financiado por los NIH. En comparación con antes de la pandemia, cinco estados de los 17 estudiados tuvieron un aumento en el número de suicidios de jóvenes adolescentes (NIH, 2022).

El estrés de la pandemia puede haber contribuido a un aumento en los suicidios de adolescentes, según un estudio de 14 estados financiado por los Institutos Nacionales de la Salud. Aunque el número y la proporción de suicidios de jóvenes variaron entre estados individuales, cuando se consideraron todos los estados en conjunto, los investigadores observaron un aumento en el número de suicidios entre jóvenes de 10 a 19 años y en la proporción de suicidios de jóvenes en comparación con la población general.

Los autores concluyeron que los hallazgos resaltan la necesidad de servicios de salud mental y prevención del suicidio para que los jóvenes enfrenten el estrés de la pandemia, además de ampliar la terapia de duelo para quienes perdieron a cuidadores a causa de la COVID-19 (NIH, 2022).

Justificación

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo fue evaluar los índices de depresión en estudiantes de media superior post pandemia, a través del inventario de depresión de Beck, con el propósito de proponer estrategias de intervención en este nivel. En la institución donde se aplica dicho instrumento, es a la población terceros y quintos semestres, en los cuales se había detectado una serie de actitudes como cansancio extremo, apatía, somnolencia, llanto espontaneo, casos de lesiones tanto en hombres como en mujeres. Todo lo anterior detectado por los tutores de grupo en sus clases de orientación educativa y vocacional. Incluso muchos de los estudiantes de forma particular expresaron la gravedad de sus problemas familiares entre los que resaltaba la violencia doméstica, la

muerte o desaparición de un padre de familia o familiar cercano por el crimen organizado, o fallecimiento de un miembro importante de la familia a causa de la pandemia. Tomándose la necesidad de evaluar la depresión en este grupo de adolescentes para desarrollar medidas específicas y preventivas en la salud de estos estudiantes.

Método

La presente investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se busca analizar por medio de los estudios previos y actuales sobre la depresión en adolescentes que cursan la educación media superior. El enfoque de tipo cuantitativo se consolida las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) o síntomas para establecer con exactitud si dichos estudiantes padecen o no de depresión de leve a grave. El estudio es de índole no experimental con un alcance descriptivo; podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no se hace variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. La función de la medición es detectar en dicha población estudiantil cuales eran los porcentajes de depresión (Hernández et al., 2017).

Sujetos

La muestra es de tipo no aleatoria Los sujetos fueron de una población de 450 estudiantes de nivel medio superior, que se encuentran en una institución particular de los cuales, fueron invitados a participar a 294 alumnos quienes cursaban el tercer y quinto semestre, con una edad entre 15 a 18 años, donde 150 eran de sexo masculino, 140 de sexo femenino, y 4 personas omitieron la respuesta (ver Tabla 1).

Tabla 1

Frecuencia y porcentaje de acuerdo con el sexo de los participantes

Sexo	Frecuencia	Porcentaje
Femenino	140	47.6%
Masculino	150	51%
Sin informar	4	1.4%
Total	294	100%

Instrumento

El instrumento aplicado fue el inventario de depresión de Beck que es uno de los instrumentos más utilizados por los psicólogos según Muñiz y Fernández-Hermida (2010).

Consta de 21 preguntas con cuatro tipos de respuesta, que van de 0 hasta 3 y describen el grado en que la persona se identifica con la realidad descrita. En este caso 0 sería "no me identifico en absoluto" y un 3 describiría un hecho con el que se identifica casi al 100%. De la suma total de los 21 ítems, se obtiene una cifra que puede ir del 0 hasta el 63. De este modo, se establecen cuatro categorías básicas en base a los resultados obtenidos: 0-13 depresión baja (0-13), depresión leve (14-19), depresión moderada (20-28) y depresión grave (29-63).

Procedimiento y análisis de datos

El procedimiento de aplicación fue el siguiente, en el mes de marzo del 2022 dentro de la clase de orientación educativa, en la hora correspondiente a cada grupo, se aplicó el instrumento de inventario de Depresión de Beck. Dándoles la instrucción que contestaran lo más honestamente las afirmaciones que presentaba el instrumento, eligiendo una de cada grupo de afirmaciones, el que mejor describa el modo como se ha sentido las últimas dos semanas, incluyendo el día de hoy. Si varios enunciados de un mismo grupo le parecen igualmente apropiados, marque el número más alto, sin olvidar contestar su edad, y semestre que cursan. Además de esto, se les indicó que todos los datos proporcionados serían utilizados para fines académicos y de investigación, respetando la confidencialidad y libre participación en el estudio. El tiempo en responder fue de siete minutos, aproximadamente.

Los datos obtenidos en la presente investigación fueron analizados a través del paquete estadístico SPSS versión 19 para Windows a fin de encontrar la estadística descriptiva de los resultados obtenidos.

Resultados

En el total de 294 alumnos encontramos a 120 alumnos con una *depresión baja* siendo el 40.8% de la población estudiada, es decir, los sujetos fueron calificados con puntos que van de 0 a 13 puntos, 42 sujetos eran de sexo femenino y 76 eran de sexo masculino. El 17.7% de los alumnos presentó una *depresión leve*, siendo un total de 52 alumnos de los 294. Los sujetos fueron calificados entre 14- 18 puntos según el inventario. De estos, 28 sujetos eran de sexo femenino y 24 de sexo masculino.

Por otro lado, en la Tabla 2 se muestra que el 20.1% de los sujetos fueron clasificados con *depresión moderada*, encontrando un aumento en esta categoría, siendo un total de 59 alumnos, los encontrados con estos síntomas. Siendo que estos alumnos reunieron entre 19 a 27 puntos del inventario aplicado. 31 sujetos eran de sexo femenino, y 26 de sexo masculino. Finalmente, el 21.4% de la población analizada, se clasifican en

depresión grave, teniendo en esta categoría 63 alumnos, encontrando de nuevo un aumento de sujetos en esta categoría que presentan síntomas de depresión grave. 39 sujetos eran de sexo femenino, y 24 de sexo masculino.

Tabla 2

Niveles de depresión en los estudiantes de preparatoria

Nivel	Frecuencia	Porcentaje	Mujeres	Hombres
Depresión Baja	120	40.8%	42	76
Depresión Leve	52	17.7%	28	24
Depresión Moderada	57	20.1%	31	26
Depresión Severa	63	24.4%	39	24

En la depresión baja se muestra mayoría dentro del sexo masculino, pero en la depresión leve y moderada se nota un equilibrio tanto en el sexo masculino como femenino, en la depresión grave se nota más alto el número de sujetos en el sexo femenino. Llama la atención que la sumatoria de depresión moderada y leve suma un 41.5% de la población estudiada.

Discusión

De los estudios nacionales e internacionales revisados para el presente trabajo, encontramos que la presencia de la depresión en los bachilleratos durante la pandemia estuvo bastante presente. Pero tres años después de su comienzo y dos años después de la vacunación y vuelta a clases presenciales, los jóvenes siguen presentando aún resultados positivos en la medición de la depresión. De acuerdo con Oliva y Quevedo en el año 2022 presentaron los resultados de su estudio, donde 85 (48.02%) estudiantes no presentaron indicadores de depresión; sin embargo, 35 de ellos (19.77%) presentaron depresión leve; 38 jóvenes, (21.46%), mostraron síntomas de depresión moderada y 19 alumnos, (10.73%) mostraron depresión grave. En el caso del presente estudio pareciera concordar con dicho estudio, el 40.5 % no presenta casi síntomas, 17% en depresión leve, un 20% en depresión moderada y un 20% en depresión grave. Concordando totalmente con cierta variabilidad los resultados del estudio antes mencionado. De los cuales el sexo femenino tiende a ser mayor en la depresión grave, mientras que en la moderada y leve,

presentan un aparente equilibrio, pero siguen sobre saliendo por un margen muy bajo el sexo femenino.

Es decir estos jóvenes pueden estar presentando o sintiéndose tristes o sin esperanzas, que pudieran confundirse con circunstancias propias de la edad, tiene poca energía o se siente cansado durante el día, situación que se puede maquillar con el uso y abuso de la tecnología durante la noche, aparentando ser un síntoma de desvelo, o trastornos del sueño, que a su vez tiene dificultad para dormir, o duerme más o menos de lo acostumbrado comen más o menos de lo acostumbrado, que también se justifica con su etapa del desarrollo, donde se exige más calorías para su desarrollo músculo esquelético o en el cuidado de la figura por estética. Aunque no existe un estudio previo con estos mismos participantes, se presenta la hipótesis que la pandemia pudo ser una causante de aumentar los casos de depresión en los adolescentes, con relación a esto, Moyeda et al. (2024) presentó un estudio comparativo midiendo la depresión en jóvenes de secundaria antes de la pandemia en el año 2019 y la aplicación del mismo instrumento en enero del 2022 encontrando que el primer estudio el 48% de los adolescentes no presentaban síntomas, para el 2022 ese porcentaje bajó a solo 5% de los adolescentes no lo presentaban, aumentando el número de 3.6% a 19.0 % en depresión leve, del 0.0% a 24% en depresión moderada, y de 48% a 51% en depresión grave.

Los adolescentes que presentan dichos porcentajes en nuestro estudio tienen dificultad para prestar atención en la escuela, esta es de las situaciones en las que más se puede enmascarar la depresión debido a que podemos pensar en trastornos del neurodesarrollo, flojera, apatía, o que no le gusta la escuela. Pero la falta de logros académicos, también puede ser un factor que contribuya a que el problema se intensifique, puesto que los pensamientos de inutilidad se confirman con estos pequeños tropiezos, más aún cuando su percepción sobre la realidad ya puede estar siendo negativa.

Lo anterior lleva al síntoma más preocupante de una depresión moderada y grave, la cual es que piensa en querer dañarse a sí mismo en alguna forma, desde golpes impulsivos a lugares o zonas que lo pueden lesionar, autolesionarse con objetos punzocortantes, tomar pastillas o conductas riesgosas, hasta la planificación de terminar con su vida, que muchas veces los lleva a diversos intentos suicidas.

Es por esto y mucho más que la presencia de un profesional de la salud mental debe estar presente en la institución de forma exclusiva en atención emocional al alumnado, no como figura académica, sino por lo menos un constante monitoreo de la salud mental de los adolescentes en la comunidad educativa. Recordando que la intervención de la

depresión en adolescentes debe ser abordada de forma integral, familiar, escolar, social, etc.

Además de sugerir ampliamente talleres de salud mental, manejo de conflictos, psicología positiva y autopercepción. Estos talleres deben estar enfocados a la población de más alto riesgo, en los casos de depresión moderada y grave, dando un seguimiento a los estudiantes detectados con dicha sintomatología, fomentando la resiliencia, aun cuando Rodríguez-Hernández et al. (2021) encontraron que en la población mexicana los índices de ansiedad y depresión eran más bajos de lo esperado que en otros países durante la pandemia, mencionando que se debía a la fuerte resiliencia que la población mexicana manejaba.

Dichos talleres que se sugieren deben extenderse por medio de psicoeducación a los padres de familia en el cuidado e importancia de la salud mental en sus hijos adolescentes, incluyendo a todos los actores de la comunidad educativa como lo presenta Näslund-Hadley (2022) con las estrategias eficaces de salud mental en la escuela donde suelen aplicarse a través de algún tipo de modelo de Sistema de Apoyos Múltiples (MTSS).

Este sistema (MTSS) se utiliza ampliamente en Estados Unidos y Europa, y estructura las intervenciones de salud mental en la escuela a lo largo de tres niveles de apoyo. En función de las necesidades de los alumnos, el modelo abarca desde las medidas preventivas universales del Nivel 1 hasta el apoyo individualizado e intensivo del Nivel 3. Una de las ventajas del enfoque de varios niveles es que permite la identificación e intervención tempranas antes de que los problemas de salud mental se agraven. En cada nivel, el modelo involucra a toda la comunidad escolar, incluidos los padres, los educadores, los administradores escolares y los estudiantes.

Referencias

- Alzuri, M., Hernández, N., & Calzada, Y. (2017). Depresión en la adolescencia: consideraciones necesarias para su diagnóstico y tratamiento. *Rev Finlay*. 152–4. Disponible en: [http:// bitly.ws/zhEv](http://bitly.ws/zhEv)
- Ambrosini, P. J., Metz, C., Bianchi, M. D., Rabinovich, H., & Undie, A. (1991). Concurrent validity and psychometric properties of the Beck Depression Inventory in outpatient adolescents. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 30, 51-57.
- American Psychiatric Association. (2014). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5 (R): Spanish Edition of the Desk Reference to the Diagnostic Criteria From DSM-5 (R)*. American Psychiatric Association Publishing.
- Beck, A.T., Steer, R.A., & Brown, G.K. (2009). *Inventario de depresión de Beck* [Internet]. 2nd ed. Paidós SAICF. 1–85
- Caiminagua, J. A. R., & Torres, B. M. L. (2023). Depresión post pandemia y su prevalencia en la población adolescentes de bachillerato de la Unidad Educativa Chilla. *Dialnet* (125). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9055939>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2022). La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19. UNESCO. Cepal.org. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/5a875585-d094-47f7-9288-04114867f8aa>
- Comisión Nacional contra las Adicciones [CONADIC] (2022) *Guía de prevención y abordaje de la salud mental y el consumo de sustancias psicoactivas*. Gob.mx. http://formacion.virtual.dif.gob.mx/docu/guia_sustancias.pdf
- Depression. (2021). National Institute of Mental Health (NIMH). <https://www.nimh.nih.gov/health/publications/espanol/depression-sp>
- Flickr, S. (2022). *Novedades de la ciencia: Los suicidios de jóvenes aumentaron en el primer año de la pandemia, indica un estudio financiado por los NIH*. <https://espanol.nichd.nih.gov/>. <https://espanol.nichd.nih.gov/noticias/prensa/042722-COVID-suicidios-jovenes>
- García, B. G., Carrión, I. C., Plazas, E. R., & Martínez, A. C. (2022). *Adolescentes y pandemia*. Upct.es. https://www.upct.es/gestionserv/inter/espacios_usuarios/web_servsimip_fich/doc_secciones/372resumen-adolescentes-y-pandemia.pdf

- Han, B. C. (2022). *Sociedad del Cansancio*, La. Herder & Herder.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. 3ª ed. McGraw-Hill Interamericana.
- Kestel, D. (2022). *Estado de la salud mental tras la pandemia del COVID-19 y progreso de la Iniciativa Especial para la Salud Mental (2019-2023) de la OMS*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/estado-de-la-salud-mental-tras-la-pandemia-del-covid-19-y-progreso-de-la-iniciativa>
- Miller, C. (2019). *Consumo de sustancias y trastornos de salud mental en adolescentes*. Child Mind Institute. <https://childmind.org/es/articulo/trastornos-de-la-salud-mental-y-el-uso-de-sustancias-en-la-adolescencia/>
- Moyeda, I. X. G., Ojeda, F. J. R., & Velasco, A. S. (2024). Efectos de la pandemia por COVID-19 en estudiantes de secundaria: comparación de depresión y autoeficacia. *Psicología Iberoamericana* 31(2) Universidad Iberoamericana <https://www.redalyc.org/journal/1339/133976826004/html/index.html>
- Muñiz, J., & Fernández-Hermida, J. R. (2010). La opinión de los psicólogos españoles sobre el uso de los tests. *Papeles del Psicólogo*, 31(1). 108-121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77812441011>
- Näslund-Hadley, E. (2022). *¿Cómo deben responder las escuelas a la crisis de salud mental que dejó el COVID-19?* Enfoque Educación. <https://blogs.iadb.org/educacion/es/crisis-salud-mental-covid-19/>
- Nogales, A., Rodríguez, H., Cortés, G., Cabrera, I., Esperón, C., Lohman, K. & Peñalosa, E. (2009). *Depresión en niños y adolescentes*. Guía Clínica.
- Oficina de Salud Mental de la Mujer (OASH) (2023). *Pide que les hagan a tus hijos adolescentes la prueba para detectar la depresión*. <https://health.gov/espanol/myhealthfinder/viviendo-sanamente/salud-mental->
- Oliva, E. C., & Quevedo, M. P. (2022). Presencia de depresión y ansiedad en estudiantes de bachillerato durante la pandemia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 25–34. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3468
- OMS (2015). Normas mundiales para mejorar la calidad de los servicios de atención de salud de los adolescentes. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/28570/9789275319048_v2-spa.pdf?ua=1

- Rehm, J., & Shield, K.D. (2019). Global Burden of Disease and the Impact of Mental and Addictive Disorders. *Current Psychiatry Reports*, 21(2). 10. doi: 10.1007/s11920-019-0997-0. PMID: 30729322.
- Requena, C. (2024). *Reflexiones sobre la libertad y la autoridad*. Carlos Requena. <https://www.carlosrequena.mx/forbes/reflexiones-sobre-la-libertad-y-la-autoridad/>
- Rodríguez-Hernández, C., Medrano-Espinosa, O., & Hernández-Sánchez, A. (2021). Salud mental de los mexicanos durante la pandemia de COVID-19. *Gaceta Médica de México*, 157(3). <https://doi.org/10.24875/gmm.20000612>
- Sanz, J., Gutiérrez, S., & Gesteira y María Paz García-Vera, C. (2020). *Criterios y baremos para interpretar el “inventario de depresión de Beck-II” (BDI-II)*. https://www.behavioralpsycho.com/wp-content/uploads/2019/08/03.Sanz_22-10a.pdf
- Secretaría de Salud. (2021). *Pandemia impacta en distintos ámbitos a adolescentes y jóvenes: VoCes-19*. gob.mx. Recuperado el 4 de junio de 2024, de <https://www.gob.mx/salud/prensa/pandemia-impacta-en-distintos-ambitos-a-adolescentes-y-jovenes-voces-19?idiom=es>
- Villamil, J. C., Ramírez, A. C., & Manrique, J. G. (2018). El adolescente «cansado»: evaluación y manejo en la consulta de medicina familiar. SEMERGEN. *Sociedad Española de Medicina Rural y Generalista*, 44(2), 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2017.01.009>

Capítulo 9

Satisfacción de estudiantes universitarios de nuevo ingreso respecto al curso Salud y desarrollo personal

Paola Escobedo Hernández

Raquel García Flores

Sonia Beatriz Echeverría Castro

Resumen

En la universidad, es fundamental asegurar el bienestar de los estudiantes y su desarrollo personal para el éxito académico y la formación integral. En este sentido el curso de Salud y desarrollo personal surge como parte de la renovación curricular y atención a las necesidades presentadas por parte de los estudiantes, con el fin de brindar una mejor experiencia educativa para los estudiantes de nuevo ingreso. El objetivo de este estudio fue conocer las opiniones de estudiantes universitario sobre el curso salud y desarrollo personal. Participaron 773 estudiantes de nuevo ingreso de diferentes carreras. Los resultados mostraron que las respuestas de los estudiantes podían agruparse en 8 categorías de las cuales los métodos de enseñanza y dinámicas fueron las más mencionadas respecto a los que más les gustó del curso, seguido de aspectos relacionados con el crecimiento y desarrollo personal. Se concluye que el curso fue satisfactorio para los estudiantes, mismos que valoran la forma en la que se imparten los temas y actividades, además del entorno que se crea en el aula respecto a la relación con el docente y sus pares, lo que permite que se desenvuelvan más fácilmente.

Palabras clave: Universitarios, satisfacción, salud mental, bienestar

Introducción

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) reportes anteriores a la pandémica por el COVID-19, se indicaba que a nivel mundial alrededor de 1000 millones de personas presentaban un trastorno mental como los relacionados al consumo de sustancias; es importante mencionar que la mitad de los trastornos reportados tienen su inicio en la adolescencia y que el suicidio es la segunda causa de muerte en jóvenes de 15 a 29 años. La contingencia por COVID-19 pudo haber provocado un aumento en la prevalencia de trastornos relacionados con conductas adictivas. Durante la pandemia se ha reportado que la población presenta alzas en síntomas de ansiedad, depresión, trastorno de estrés postraumático y sufrimiento psicológico. Asimismo, se presentó una reducción en la actividad física debido al aislamiento social.

En México no hay reportes exactos de la salud mental en jóvenes universitarios. Sin embargo, en los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) del 2022 se ha reportado un aumento en las conductas sedentarias, como pasar mucho tiempo frente a una pantalla, y conductas alimentarias de riesgo (Medina et al., 2023; Villalobos-Hernández et al., 2023) las cuales no solo afectan la salud física, sino que pueden llegar a afectar la salud mental.

Los universitarios se caracterizan por ser una población vulnerable en aspectos relacionados con la salud mental y física (Hoyt et al., 2021). Estrada et al. (2024) mencionan en su estudio en universitarios que estos pueden experimentar malestares físico y emociones debido al estrés académico, lo que puede llegar a afectar su rendimiento académico y motivación para sus estudios y además puede traer problemas en el manejo adecuado de sus emociones; en el mismo estudio se analizaron los niveles de fatiga emocional, los resultados mostraron que los estudiantes podían llegar a experimentar fatiga mental regularmente al final de sus clases lo que se manifestaba en falta de energía y dificultad para concentrarse. Lo que se puede explicar por la naturaleza del entorno universitario, la gestión del tiempo y entrega de tareas y proyectos. Es por ello que se vuelve indispensable ayudar a los estudiantes con estrategias sobre el manejo del estrés y afrontamiento de los retos académicos y emocionales que conlleva la vida universitaria.

Es fundamental que las universidades cuiden de la salud mental y bienestar de sus estudiantes, esto puede beneficiar no sólo el rendimiento académico, sino ayudaría a al fomento de futuras sociedades más sanas y equilibradas (Estrada et al., 2024). García et al. (2023) en su estudio sobre expectativas y metas académicas y su relación con la calidad de vida estudiantil, encontraron que cuando los estudiantes tienen expectativas positivas y satisfacción académica presentan mejor salud física y mental, es decir, aquellos jóvenes que logran un balance entre lo que esperan académicamente y su progreso académico, tienen a tener más autocuidado y por ende preocuparse más por su salud.

En un estudio sobre salud física y mental percibida en estudiantes universitarios se encontró que cuando los estudiantes reportan mayor satisfacción con la escuela y experiencias positivas en ella, presentan mejor percepción de su salud física y mental. Además, se encontró que la salud física tenía una relación con el estrés percibido de los estudiantes. Por ello se plantea la importancia de educar a los universitarios en el manejo del estrés y de sus emociones (Chau & Vilela, 2017).

La importancia de entrenar y educar sobre la regulación emocional es debido a su relación con diferentes síntomas y conductas. Estudios han indicado que la falta de estrategias de regulación emocional se relaciona con altos índices de sintomatología depresiva, ansiedad, conductas alimentarias de riesgo y problemas de sueño (Brzozowski & Philip Crossey, 2024; Schantz et al., 2024; Ward-Smith et al., 2024).

De los programas que han mostrado eficacia en la mejora de la regulación emocional ha sido la terapia dialéctica conducta (DBT) la cual contempla entre sus componentes el entrenamiento en habilidades que ayudan tomar mejores decisiones con respecto a las conductas y mejora las capacidades de los participantes (Reyes-Ortega et al., 2023). El entrenamiento en habilidades DBT puede ayudar a los estudiantes a manejar el estrés, resolver problemas y comunicarse de manera efectiva con sus pares y profesores, por lo que puede ayudar a gestionar la presión académica contribuyendo a la salud mental de los estudiantes (Huerta et al., 2020). El curso de salud y desarrollo personal se basó en gran parte en el manual DBT- que se trata de un entrenamiento en habilidades para la regulación emocional y habilidades sociales, no solo busca proporcionar conocimientos prácticos sobre salud física y mental, sino que también busca promover estilos de vida saludables y fortalecer la regulación emocional.

Finalmente, es necesario conocer la satisfacción de los estudiantes con respecto a sus experiencias en el aula. La satisfacción proporciona información sobre el bienestar psicológico y experiencias positivas en entornos escolares, ayuda a comprender el rol que ha tenido el docente y la percepción de los estudiantes respecto a su aprendizaje. Esto permite conocer las áreas de oportunidad para seguir mejorando los programas de estudio y métodos de enseñanza. Además, la satisfacción académica se relaciona con el rendimiento académico, es decir, entre más experiencias positivas reporte el estudiante será más sencillo el aprendizaje (Tacca et al., 2019).

Objetivo

Analizar las opiniones respecto a la satisfacción del curso Salud y desarrollo personal de estudiantes universitarios de nuevo ingreso.

Método

Se utilizó un diseño no experimental, transversal, descriptivo.

Participantes

Participaron 773 estudiantes de nuevo ingreso de licenciatura del Instituto Tecnológico de Sonora. El 49% fueron mujeres, 49% hombres y 2% prefirieron no responder. El 6% tenía 17 años, 65% tenía 18 años, 13% contaba con 19 años, el 14% 20

años y el resto era mayor a 20 años. La distribución de estudiantes por programa educativo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Distribución por Programa Educativo

Porcentaje	Programa Educativo
16%	Ing. Industrial y de Sistemas
13%	Ing. en Software
12%	Lic. en Administración
8%	Lic. en Psicología
7%	Lic. en Ciencias de la Educación
7%	Lic. en Diseño Gráfico
5%	Ing. en Mecatrónica
5%	Ing. Civil
27%	Otras carreras

Instrumento

Se aplicaron diferentes instrumentos para evaluar el curso y un cuestionario de satisfacción conformado por 4 preguntas abiertas. Para fines de este estudio se presentarán los resultados de la pregunta *¿qué fue lo que más te gustó del curso?*

Procedimiento

Se elaboró un instrumento tipo encuesta en google forms para explorar la opinión de los estudiantes respecto al curso de Salud y desarrollo personal del plan 2023. Se compartió la liga del google forms a las y los docentes que impartieron la materia en el semestre agosto-diciembre 2023 para que a su vez la compartieran con sus estudiantes, previo consentimiento informado. La aplicación del instrumento se llevó a cabo en el mes de noviembre de 2023.

Resultados

Para la pregunta *¿Qué fue lo que más te gustó del curso?* se analizaron las respuestas por carreras, con ayuda de una IA se extrajeron las palabras más repetidas, eliminando aquellas irrelevantes y se crearon categorías de cada grupo de respuestas. Luego de las

categorías de cada carrera se sometieron a otro análisis para crear nuevas categorías generales con sus definiciones.

1. Métodos de Enseñanza y Dinámica de Clase:

Esta categoría abarca las técnicas, estrategias y actividades utilizadas por el instructor para impartir la clase de manera dinámica y efectiva. Incluye métodos de enseñanza innovadores y participativos que facilitan el aprendizaje.

Ejemplos de respuesta:

"Me gustó mucho cómo el profesor explicaba los temas, hacía que parecieran simples y aplicables." – Estudiante de Ingeniería Civil.

"Me encantó cómo realizábamos actividades en grupo, nos permitía compartir conocimientos y aprender de los demás." – Estudiante de Licenciatura en educación infantil.

"Las actividades y conversaciones en clase fueron muy enriquecedoras, nos ayudaron a profundizar en los temas." – Estudiante de Ingeniería en Biotecnología

2. Relación e Interacción con el Instructor:

Se refiere a la calidad de la relación entre los estudiantes y el instructor, incluyendo la actitud, el trato, y la capacidad del instructor para conectar con los estudiantes tanto a nivel individual como grupal.

Ejemplos:

"La atención hacia el alumno y el vocabulario utilizado por la maestra creaba un ambiente de confianza en clase." – Estudiante de Licenciatura en Ciencias de la Educación.

"El vínculo que se creó con la maestra nos hizo sentir más cómodos y dispuestos a aprender." – Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica.

"Aprecio la atención que la maestra brinda a cada alumno y su forma respetuosa de comunicarse." *"La actitud positiva de la maestra en clase crea un ambiente propicio para el aprendizaje y la participación."* – Estudiantes de ciencias del ejercicio físico.

3. Contenido y Temas del Curso:

Esta categoría incluye los temas y tópicos específicos cubiertos durante el curso, así como la relevancia y calidad del contenido presentado en clase.

Ejemplos:

"El contenido del curso era muy completo y abordaba temas importantes para mejorar nuestra salud mental." – Estudiante de Ingeniería en Biotecnología.

"Los temas que abordamos en clase fueron muy relevantes y nos permitieron reflexionar sobre nosotros mismos." – Estudiante de Contaduría Pública.

“Los temas vistos, me ayudan a mejorar mi persona” –Estudiante de Ingeniería Industrial y de sistemas.

4. Desarrollo Personal y regulación emocional:

Hace referencia al impacto del curso en el desarrollo personal de los estudiantes, incluyendo el autoconocimiento, la inteligencia emocional, y la capacidad para manejar el estrés y regular las emociones.

Ejemplos:

“Aprendí mucho sobre mí mismo y sobre cómo puedo mejorar como persona en diferentes aspectos de mi vida.”- Estudiante de Lic. En educación artística y gestión cultural

“El curso me permitió enfocarme en mis emociones y aprender técnicas para regularlas de manera efectiva.”. “A través del curso, he descubierto formas de autorregulación emocional que nunca antes había considerado, lo que me ha ayudado a crecer como persona.”-
Estudiantes de Medicina Veterinaria y Zootecnia

“El curso me brindó herramientas para desarrollar mi autocontrol y establecer metas a corto y largo plazo.”. “A través de las clases, logré encontrar soluciones a problemas personales y mejorar mi bienestar emocional.”-Estudiantes de Ciencias del ejercicio físico.

5. Interacción y Participación en Clase:

Esta categoría se refiere a la participación activa de los estudiantes durante la clase, la interacción entre los estudiantes, y las oportunidades para expresar opiniones y debatir sobre los temas tratados.

Ejemplos:

“Las actividades y convivencia.”. “Los debates y opiniones sobre los temas” Ingeniería industrial y de sistemas.

“Las actividades de activación física.”. “La maestra creaba un ambiente de confianza donde todos nos sentíamos cómodos para expresarnos.”- Ingeniería Civil.

6. Empatía y Apoyo Emocional:

Esta categoría incluye aspectos relacionados con la empatía y el apoyo emocional proporcionado por el instructor y el entorno de la clase.

Ejemplos:

“La convivencia en clase me permitió comprender que mis problemas son comunes y que puedo superarlos con el tiempo y el esfuerzo.”- Licenciatura en ciencias del ejercicio físico.

“Me sentí muy cómodo en el ambiente de la clase y aprecié la participación activa de mis compañeros.”. “La maestra hizo un gran trabajo creando un ambiente de aprendizaje positivo y colaborativo.” –Estudiantes de Ingeniería en Manufactura

7. Apreciación General del Curso:

Se refiere a la valoración general y la satisfacción con la experiencia del curso en su totalidad, incluyendo opiniones generales positivas sobre el curso y su impacto.

Ejemplos:

"Estoy muy satisfecho/a con todo lo que aprendí durante el curso."- Estudiante Ingeniería civil

8. Aplicabilidad en la Vida Cotidiana:

Esta categoría abarca cómo los conocimientos y habilidades adquiridos en el curso pueden aplicarse en la vida diaria de los estudiantes, ayudándoles a mejorar su bienestar y enfrentar situaciones cotidianas.

Ejemplos:

"Que nos aporta habilidades muy importantes para la vida universitaria. No solo nos brinda herramientas para convivir y relacionarnos mejor con nuestros compañeros y maestros, sino que también nos ofrece la oportunidad de explorar y comprender mejor nuestro propio ser, fomentando la autoevaluación y el autoconocimiento." –Estudiante de Licenciatura en Administración.

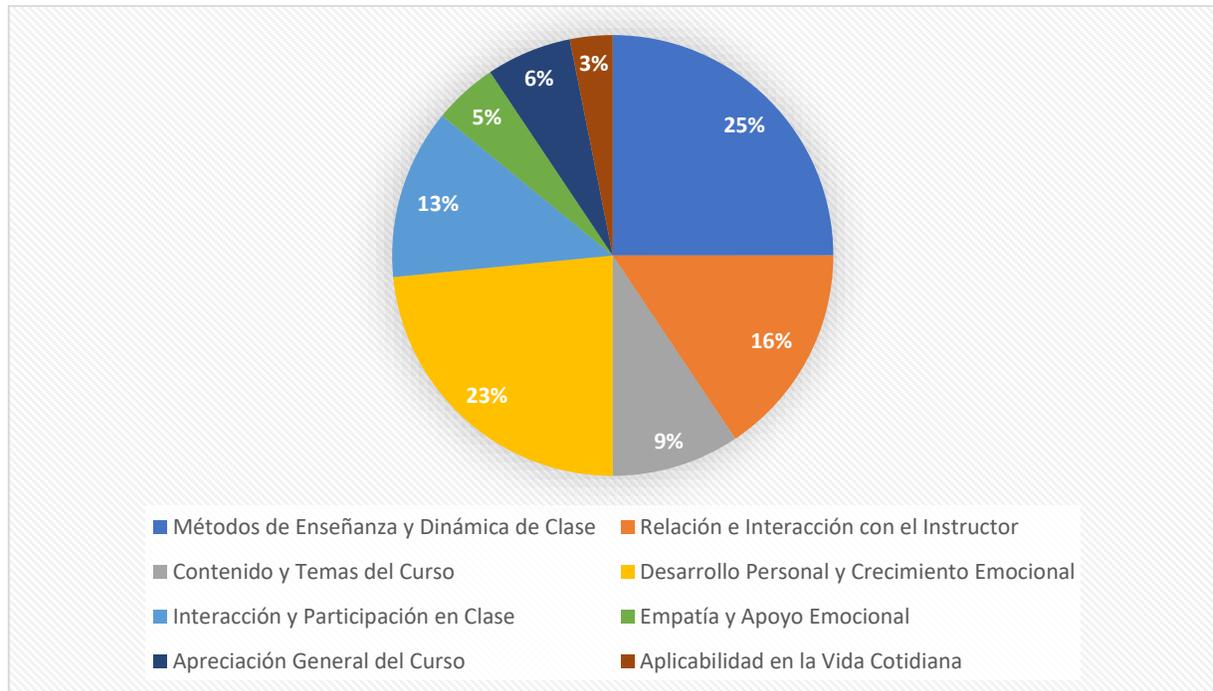
"Los consejos y técnicas que aprendí en clase los puedo aplicar en mi vida diaria para mejorar mi bienestar mental."- Estudiante de Ingeniería civil

Frecuencia de categorías

De las categorías mencionadas, la más frecuente fue Métodos de Enseñanza y Dinámica de Clase y Desarrollo Personal y regulación emocional, es decir, fueron categorías que más se mencionaron en las diferentes carreras. Seguido por la interacción y relación con el instructor (Figura 1).

Figura 1

Frecuencia de repeticiones de categorías



Conclusión

El propósito del presente estudio fue analizar las opiniones de estudiantes de nuevo ingreso respecto al curso salud y desarrollo personal. Se logró analizar las respuestas de más de 700 estudiantes, de diferentes carreras y ciudades. Se encontró que entre lo que más les gustó del curso fueron los métodos de enseñanza, es decir para los estudiantes tiene valor la forma de enseñar del profesor, si éste muestra vocación por la docencia, además de las actividades didácticas empleadas, el curso fue diseñado con el fin de que fuera vivencial, que ellos más que teoría aprendieran a aplicar las habilidades y conocimientos a su vida, por lo que era necesario tener actividades fuera de lo común para un salón de clases. En un estudio sobre la percepción docente y de profesores respecto a la calidad educativa, entre las categorías que describen los resultados están el rendimiento del docente el cual hace referencia a las opiniones respecto a la preparación previa del docente y el seguimiento fuera de clases, por otro lado, los estudiantes reportaron que el aprendizaje vivencial es importante para su buena formación, es decir que más que memorizar prefieren participar en las decisiones dentro del aula (Hortigüela et al., 2017).

Por otro lado, en sus respuestas los estudiantes mostraron un gran interés por hablar del desarrollo personal, ellos mostraron una comprensión por cómo los temas les han ayudado a reflexionar sobre su vida y sus emociones, cómo pueden mejorar en su regulación y en su bienestar. Estudios han demostrado la eficacia de tratamientos con componentes de mindfulness y regulación emocional para mejorar sintomatología y aumentar el bienestar de los estudiantes (Huerta et al., 2020; Zerpa et al., 2024). Lo anterior es importante dado que se ha demostrado que mientras más regulación emocional presenta un estudiante será menos probable que perciba el ambiente escolar como una amenaza y por tanto tendrá menos síntomas relacionados al estrés (Cabanach et al., 2017).

Las demás categorías podían variar dependiendo de las carreras, pero se puede concluir que los estudiantes muestran un aprecio hacia la calidad de la relación con el docente, muchos mostraron su satisfacción con la actitud de sus profesores, la empatía que les brindaban y el apoyo percibido por parte de ellos, eso es importante dado que los docentes de este curso llevaron una capacitación especial para el trato con los estudiantes y la implementación de los temas y actividades. Estudios han encontrado una relación entre la credibilidad de los docentes con la satisfacción y la motivación académica, por lo que la relación entre el estudiante y docente puede ayudar a mejorar las experiencias dentro del aula (Froment & de-Besa Gutiérrez, 2022).

Es importante conocer aquello que no les agradó del curso, así como la retroalimentación para seguir mejorando, sin embargo, estos resultados preliminares hacen cuenta que gran parte de los estudiantes expresaron satisfacción por el curso y la forma en la que se implementó. Se insta a seguir evaluando la satisfacción y opinión de los estudiantes universitarios respecto a curso dirigidos a su salud mental y física.

Referencias

- Brzozowski, A., & Philip Crossey, B. (2024). Maladaptive emotion regulation strategies mediate the relationship between biased cognitions and depression. *Journal of Behavioral and Cognitive Therapy*, 34(1), 100485. <https://doi.org/10.1016/j.jbct.2024.100485>
- Cabanach, R. G., Souto-Gestal, A., & Fernández Cervantes, R. (2017). Perfiles de regulación emocional y estrés académico en estudiantes de fisioterapia. *European Journal of Education and Psychology*, 10(2), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.ejeps.2017.07.002>
- Chau, C., & Vilela, P. (2017). Variables associated with perceived physical and mental health in university students from Lima. *Liberabit: Revista Peruana de Psicología*, 23(1), 89–102. <https://doi.org/10.24265/liberabit.2017.v23n1.06>
- Estrada, E. G., Farfán-Latorre², M., Lavilla-Condori^{3a}, W. G., Quispe-Aquise^{4a}, J., Lavilla-Condori^{5b}, M. L., & Mamani-Roque, M. (2024). Estrés académico y cansancio emocional en estudiantes universitarios: Un estudio transversal. *Gaceta Médica de Caracas*, 132(1). <https://doi.org/10.47307/GMC.2024.132.1.6>
- Froment, F., & de-Besa Gutiérrez, M. (2022). La predicción de la credibilidad docente sobre la motivación de los estudiantes: El compromiso y la satisfacción académica como variables mediadoras. *Revista de Psicodidáctica*, 27(2), 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.04.003>
- García, J. A., González, J., & Garza, R. I. (2023). Variables académicas y de calidad de vida en estudiantes universitarios mexicanos. *Actualidades en Psicología*, 37(135), 29–43. <https://doi.org/10.15517/ap.v37i135.49371>
- Hortigüela, D., Ausín, V., Delgado, V., & Abella, V. (2017). Análisis de la importancia de los criterios de evaluación y el reconocimiento académico docente universitario como indicadores de la calidad educativa en España. *Revista de la Educación Superior*, 46(181), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2016.10.002>
- Hoyt, L. T., Cohen, A. K., Dull, B., Maker Castro, E., & Yazdani, N. (2021). “Constant Stress Has Become the New Normal”: Stress and Anxiety Inequalities Among U.S. College Students in the Time of COVID-19. *Journal of Adolescent Health*, 68(2), 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.10.030>
- Huerta, J. N., Reyes, M. A., Sotelo, C. E., Gil, M. E., Lima, Z., Gutiérrez-Cardona, C. R., & Barrientos, M. T. (2020). Evaluación de la efectividad del programa DBT STEPS-A

- en estudiantes universitarios mexicanos. *Psicología y Salud*, 31(1), 103–112. <https://doi.org/10.25009/pys.v31i1.2680>
- Medina, C., Jáuregui, A., Hernández, C., González, C., G Olvera, A., Blas, N., Campos, I., & Barquera, S. (2023). Prevalencia de comportamientos del movimiento en población mexicana. *Salud Pública de México*, 65, s259–s267. <https://doi.org/10.21149/14754>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). *Preparación y respuesta en materia de salud mental para la pandemia de COVID-19* (pp. 1–7). OMS. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB148/B148_20-sp.pdf
- Reyes-Ortega, M. A., Zapata Téllez, J., Gil-Díaz, M. E., Ramírez-Ávila, C. E., & Ortíz-León, S. (2023). Utilidad de la terapia dialéctica conductual abreviada para dificultades de regulación emocional en estudiantes mexicanos: Casos clínicos. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, 28(1), 67–81. <https://doi.org/10.5944/rppc.33704>
- Schantz, B. L., Toner, E. R., Brown, M. L., Kaiser, N., Chen, A., Adhikari, S., Hoepfner, S. S., Bui, E., Simon, N. M., & Szuhany, K. L. (2024). Examining the relationship between emotion regulation, sleep quality, and anxiety disorder diagnosis. *Journal of Mood & Anxiety Disorders*, 8, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.xjmad.2024.100072>
- Tacca, D. R., Tacca, A. L., & Alva Rodriguez, M. A. (2019). Estrategias neurodidácticas, satisfacción y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Cuadernos de Investigación Educativa*, 10(2), 15–32. <https://doi.org/10.18861/cied.2019.10.2.2905>
- Villalobos-Hernández, A., Bojórquez-Chapela, I., Hernández-Serrato, M. I., & Unikel-Santoncini, C. (2023). Prevalencia de conductas alimentarias de riesgo en adolescentes mexicanos: Ensanut Continua 2022. *Salud Pública de México*, 65, 96–101. <https://doi.org/10.21149/14800>
- Ward-Smith, C., Sorsdahl, K., & Van Der Westhuizen, C. (2024). An investigation into symptoms of depression and anxiety and emotion regulation among older adolescents from low-income settings in South Africa. *Comprehensive Psychiatry*, 132, 152476. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2024.152476>
- Zerpa, A. E., Miró, M. T., Díez, E., & Alonso, M. A. (2024). Promoción del mindfulness en la formación de psicoterapeutas a nivel universitario: Un estudio piloto. *Revista de Psicodidáctica*, 29(1), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2023.11.005>

Capítulo 10

Autoeficacia y hábitos de alimentación en niños de educación primaria en Navojoa, Sonora

Ricardo Sandoval Domínguez

José Francisco Miranda Esquer

Jesús Bernardo Miranda Solís

Brigit Arlette Escobar Fuentes

Resumen

Las variables de autoeficacia y los factores sociales son trascendentales para entender la alimentación saludable y no saludable de los escolares. En un estudio que buscaba conocer cuál era el mayor predictor de hábitos de alimentación se halló que las cuatro creencias, susceptibilidad percibida, severidad percibida, barreras y beneficios percibidos son predictores de la conducta saludable. No obstante, la autoeficacia fue la que alcanzó una mayor valoración, indicando que es el determinante más fuerte para adquirir este hábito. El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre autoeficacia y hábitos de alimentación en niños de educación primaria para el establecimiento de estrategias que ayuden a los niños en el mejoramiento de su alimentación. Participarán 210 niños con edades comprendidas entre 8 a 12 años, quienes serán estudiantes de educación primaria de los grados 4to, 5to y 6to de escuelas primarias públicas, urbanas del estado de Sonora del municipio de Navojoa y se utilizaron dos instrumentos de medición uno de ellos el de autoeficacia para la prevención de la obesidad y el Cuestionario de hábitos de vida. Se encontró una correlación baja y significativa de $-.202^{**}$ lo cual demuestra que hay relación negativa en tener autoeficacia para la elección de alimentos saludables y hábitos de alimentación inadecuados.

Palabras clave: Autoeficacia, hábitos de alimentación, niños

Introducción

Bandura es considerado el autor de la teoría cognitiva social, la cual afirma que las personas se comportan de determinadas formas por las interacciones con su entorno. Separadamente observan el comportamiento de las demás personas y tienden a realizar comportamientos parecidos. Después de observar los comportamientos, las personas proceden a asimilar e imitar esa conducta, en especial si la experiencia de observación fue positiva y creen que son capaces de hacerlo y también piensan en las recompensas que se relacionan con la conducta observada (Tadayon, 2012).

Esta teoría toma en cuenta factores ambientales, personales y de comportamiento que influyen en la conducta humana y su aprendizaje, hace énfasis en los procesos

cognitivos resaltando la importancia del pensamiento como la unidad de análisis para entender el mundo, además esta teoría en el ámbito educativo tiene un alto impacto que actualmente se utiliza en los centros educativos (Rodríguez, y Cantero, 2020).

La vida cotidiana es múltiple, contingente y la conducta se manifiesta condicionalmente. Así que ningún constructo en las ciencias sociales tiene un efecto que no sea multivalente. Para explicar lo complejo del comportamiento humano una teoría necesita contar con diferentes factores que son condicionantes. En función de la autoeficacia puede estar relacionada o no con múltiples factores además de los aspectos psicosociales (Bandura, 1997).

La autoeficacia dietética es un componente de la autoeficacia que representa la creencia de uno en su capacidad para manejar una dieta incluso ante obstáculos como el estrés o la exposición a alimentos poco saludables; por lo tanto, la autoeficacia dietética puede actuar como un moderador entre el estrés percibido y la ingesta de alimentos comportamiento (Nastaskin et ál., 2015).

Torres (2016) en su investigación con niños mexicanos encontró que presentaban bajos niveles de autoeficacia para seleccionar los alimentos, que no contaban con los conocimientos necesarios en alimentación saludable y contaban con malos Hábitos de Alimentación (HA). Por otro lado, en un estudio con niños mexicanos de 8-10 años se identificaron bajos niveles de autoeficacia en seleccionar alimentos de bajo nivel nutricional, seleccionar alimentos saludables y el comer emocional, por lo que los niños no poseen autoeficacia para cuidar sus HA, además no se encontraron diferencias significativas entre niños y niñas (Gómez, et al., 2019).

En otro estudio se encontraron bajas puntuaciones en autoestima y autoeficacia sobre los HA en niños mexicanos, además los niños se percibían como incapaces de controlar el consumo de bebidas azucaradas y energéticas y más del 55% no realizaba AF fuera del colegio, por lo que también presentaban altos índices de obesidad y sobrepeso (Trujano, et al., 2013).

En una investigación desarrollada en México se encontró que los estudiantes de primaria de 11 años cuentan con niveles altos en autoeficacia para perder y mantener su peso, sin embargo, se encontraron diferencias significativas en función del sexo, siendo los hombres los que realizan más AF y poseen más autoeficacia. En el caso de los HA se encontró que no había diferencias significativas en las puntuaciones autoeficacia y en ambos sexos se identificaron niveles altos (De la Cruz, et al., 2018).

Las variables de autoeficacia y los factores sociales son trascendentales para entender la alimentación saludable y no saludable de los escolares. Las intervenciones futuras podrían razonar el perfeccionamiento de la eficacia colectiva entre la comunidad escolar y el fomento de la participación de los niños en la organización de comidas en la residencia. La investigación adicional podría indagar el lugar de control y otras dimensiones intrapersonales que influyen en la autoeficacia (Rodríguez – Oliveros, et al., 2022).

En un estudio que buscaba conocer cuál de las creencias del Modelo de creencias en salud era el mayor predictor de HA se halló que las cuatro creencias, susceptibilidad percibida, severidad percibida, barreras y beneficios percibidos son predictores de la conducta saludable. No obstante, la autoeficacia fue la que alcanzó una mayor valoración, indicando que es el determinante más fuerte para adquirir este hábito y que es una variable mediadora de las demás creencias (Orji, Vassileva, y Mandrynk, 2012).

Se han identificado los determinantes personales (conocimiento, actitudes, gusto, autoeficacia, preferencias y percepción de barreras), sociales ambientales (modelación, modelación parental activa, reglas familiares, reglas permitidas por la familia y apoyo familiar) y físico ambientales (accesibilidad en la casa, accesibilidad en la escuela, llevar fruta y verduras a la escuela y accesibilidad en la casa de los amigos) del consumo de frutas y verduras (Ochoa, 2013).

Los HA inadecuados es de los principales factores de riesgo que presentan los niños que afectan su óptimo desarrollo, necesitan una alimentación balanceada que permita un buen estado nutricional que favorezca su crecimiento, que ayude a prevenir enfermedades desde edades tempranas hasta la edad adulta. También en esta etapa se afianzan hábitos por esta razón es de interés hacer estudios en este periodo de edad puesto que condiciona los HAS que se presentaran en la vida. Asimismo, es importante destacar que los HA y la AF están relacionados puesto que se recomienda a los niños realizar AF o deportiva de nivel moderado o intenso durante al menos una hora al día (Barja-Fernández, et al., 2020).

Existen estudios controversiales que investigan a los niños con sobrepeso y los niños eutróficos afirmando que consumen cantidades similares de energía y macronutrientes, y realizan AF con la misma frecuencia. Sin embargo, se identificaron diferencias en la cantidad de consumo de calcio, donde el grupo con sobrepeso fue menor y en el consumo de vitamina C siendo el grupo eutrófico con una menor cantidad. Se deben interpretar con cuidado estos resultados debido a que los HA y AF, en este estudio no se encontraron diferencias en los dos grupos, y que solo los participantes mencionen la actualidad de sus hábitos y que en el pasado, los pequeños que tienen sobrepeso

consumieron más calorías y realizaron menos AF que sus pares eutróficos, por lo que subieron de peso (Nogueira-De Almeida, et.al ,2015).

En un trabajo realizado en México el 48% poseyó sobrepeso u obesidad. Los comestibles con mayor favoritismo fueron frutas, pizzas, leche con sabor y papillas a la francesa (fritas). Los comestibles menos predilectos fueron verduras, maíces integrales, pescado, carnes y queso panela. El agua 72% y las bebidas azucaradas 71% obtuvieron alto favoritismo. Las preferencias de los alimentos en los infantes colegiales simbolizan un peligro para el dispendio incorrecto de víveres y para el acrecentamiento de los sumarios de corpulencia en esta población (Sánchez et al, 2014).

Al calcular los HA en estudiantes de primaria en México de 9 y 10 años se obtuvo que los niños hacen las cinco comidas recomendadas, los alumnos presentan bajas puntuaciones en el consumo de verduras, cereales y frutas; un alto consumo de carnes y pescados que es apropiado para la etapa de la niñez; un consumo de lácteos contablemente correcto y un elevado consumo de azúcares (Martínez, 2018).

¿Cuál es la relación entre autoeficacia para la alimentación saludable y los hábitos de alimentación de los niños de Navojoa?

Objetivo

Analizar la relación entre autoeficacia y hábitos de alimentación en niños de educación primaria para el establecimiento de estrategias que ayuden a los niños en el mejoramiento de su alimentación.

Objetivos específicos

Describir la autoeficacia para la alimentación saludable de los niños de primaria.

Describir los hábitos de alimentación de los niños de primaria.

Relacionar la autoeficacia para alimentación saludable y los hábitos de alimentación de los niños de primaria.

Método

Tipo de estudio

Es cuantitativo, de campo, de alcance descriptivo – correlacional (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Tipo de diseño

No experimental transversal (Hernández et al., 2010).

Muestra

Se seleccionaron los participantes utilizando un muestreo no probabilístico (Pérez, 2008), por cuotas en el que participarán 102 niños y 108 niñas con edades comprendidas entre 8

a 12 años, quienes serán estudiantes de educación primaria de los grados 4to, 5to y 6to de 10 escuelas primarias públicas, urbanas del estado de Sonora del municipio de Navojoa.

Instrumento

Instrumento de autoeficacia para la prevención de la obesidad en niños escolares (Gómez et al., 2017).

Mide la autoeficacia con respecto a la prevención de la obesidad en niños escolares mexicanos de 8 a 13 años de edad. Consta de 30 ítems en formato Likert con cuatro opciones de respuesta, desde 1= *no soy capaz de hacerlo*, hasta 4= *soy muy capaz de hacerlo* mientras más alta sea la puntuación el participante obtendrá una mayor autoeficacia teniendo como puntuación mínima 30 y máxima 150.

De acuerdo con el análisis factorial exploratorio (AFE), el instrumento cuenta con cuatro factores, con 25 ítems ($\alpha = 0.90$), mientras que el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) derivó un modelo de tres factores denominados a) autoeficacia para la actividad física ($\alpha = 0.80$), b) autoeficacia para evitar alimentos con bajo aporte nutricional ($\alpha = 0.80$), y c) autoeficacia para la elección de alimentos saludables ($\alpha = 0.76$), con 20 ítems en total ($\alpha = 0.88$), el cual mostró buen ajuste ($\chi^2/gf = 2.47$; AGFI = 0.95; NFI = 0.93; CFI = 0.95; GFI = 0.96; RMSEA = 0.03, 90% [IC 0.034-0.042]) (Gómez, et al., 2017).

Cuestionario de hábitos de vida en alimentación [HA] y actividad física [AF] para escolares de 8-12 años (Guerrero et. al., 2014).

El instrumento mide los HA y AF, y está validado en niños mexicanos de 8-12 años, consta de 27 ítems, con cinco opciones de respuestas, (desde 1= *Nunca o menos de una vez al mes* hasta 5= *Diariamente*) que evalúan la frecuencia semanal de una acción. Y luego se sumarán todas las respuestas, de modo que la puntuación más alta indique la conducta más saludable. La puntuación total mínima serán 27 puntos y la máxima 135. Cada uno de los ítems tiene el mismo valor, no hay ítems ponderados.

El instrumento fue sometido a un análisis factorial exploratorio [AFE] donde se obtuvo un valor KMO de 0.768 y la prueba de esfericidad de Barlett tuvo un valor significativo ($p=0.000$). Se obtuvieron dos dimensiones conformadas por el método de rotación varimax, Estas dos dimensiones llamadas alimentación y actividad física explicaron el 63,2% de la varianza.

La confiabilidad de los reactivos que formaron parte del instrumento arrojó un alfa de Cronbach global de 0.81. La dimensión HA constó de 18 ítems obtuvo una confiabilidad ligeramente menor, con valores de alfa de Cronbach de 0.79, y la dimensión AF consta de nueve ítems y exhibió un alfa de Cronbach de 0.76. (Guerrero, et. al., 2014).

Procedimiento

Primeramente, se hizo una revisión bibliográfica sobre las variables de autoeficacia para la alimentación saludable y los hábitos de HA para identificar los estudios que hayan contribuido relevantemente a este tema, así como identificar los instrumentos de medición válidos y confiables utilizados en México.

Se informó al supervisor de zona sobre la intención de la investigación, de los bienes que conseguirán con su colaboración y el encargo del equipo de investigación de restituir los resultados encontrados. Consecutivamente se informó los docentes y ellos informaron a los padres de familia mediante los grupos de whatsapp después se explicó a los niños sobre el proyecto y se les preguntó si estaban de acuerdo con participar y accedieron a responder las encuestas. Por último, se les agradeció a los participantes y al personal escolar por su ayuda en la investigación y por último se les entregó un reporte en formato Word y se impartieron conferencias sobre alimentación saludable a los niños.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados descriptivos y las correlacionales de las variables autoeficacia y hábitos de alimentación utilizando tablas con frecuencia porcentaje y correlación.

El 42.4% de los niños está de acuerdo con que son capaces de elegir fruta en vez de un dulce o postre, mientras que el 30.5% está totalmente de acuerdo con esta cuestión y el 21% se mostró indeciso (ver Tabla 1).

Tabla 1

Soy capaz de elegir fruta en vez de un dulce de postre

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Totalmente en desacuerdo	6	2.9	2.9	2.9
	En desacuerdo	7	3.3	3.3	6.2
	Indeciso	44	21.0	21.0	27.1
	De acuerdo	89	42.4	42.4	69.5
	Totalmente de acuerdo	64	30.5	30.5	100.0
	Total	210	100.0	100.0	

El 49.5% de los participantes está de acuerdo con que es capaz de evitar comer chocolates y pastelitos tan seguido, mientras que el 26.2% se mostró totalmente de acuerdo con esta cuestión y el 12.9% mencionó estar indeciso (ver Tabla 2).

Tabla 2

Soy capaz de evitar comer chocolates y pastelitos tan seguido

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Totalmente en desacuerdo	6	2.9	2.9	2.9
	En desacuerdo	18	8.6	8.6	11.4
	Indeciso	27	12.9	12.9	24.3
	De acuerdo	104	49.5	49.5	73.8
	Totalmente de acuerdo	55	26.2	26.2	100.0
	Total	210	100.0	100.0	

El 40% de los alumnos está de acuerdo con que es capaz de pedir comida sana cuando desayuno, como, o ceno fuera de casa, mientras que el 23.8% se mostró totalmente de acuerdo con esta cuestión y el 21.9% mencionó estar indeciso (ver Tabla 3).

Tabla 3

Soy capaz de pedir comida sana cuando desayuno, como, o ceno fuera de casa

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Totalmente en desacuerdo	7	3.3	3.3	3.3
	En desacuerdo	23	11.0	11.0	14.3
	Indeciso	46	21.9	21.9	36.2
	De acuerdo	84	40.0	40.0	76.2
	Totalmente de acuerdo	50	23.8	23.8	100.0
	Total	210	100.0	100.0	

El 39.5% de los niños mencionó que más de tres veces por semana toma refrescos o jugos embotellados, mientras que el 27.6% más de dos veces en el mes y el 17.1% casi todos los días (ver Tabla 4).

Tabla 4*Tomo refrescos o jugos embotellados*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca o menos de una vez al mes	24	11.4	11.4	11.4
	Más de dos veces en el mes	58	27.6	27.6	39.0
	Más de tres veces por semana	83	39.5	39.5	78.6
	Casi todos los días	36	17.1	17.1	95.7
	Diariamente	9	4.3	4.3	100.0
	Total	210	100.0	100.0	

Los resultados indican que el 38.1% de los estudiantes mencionaron que comen algunas golosinas o frituras como chicles, papas de bolsa más de dos veces en el mes, caramelos, mientras que el 34.8% indicó que más de tres veces por semana y el 13.3% nunca o menos de una vez al mes (ver Tabla 5).

Tabla 5*Como algunas golosinas o frituras como: chicles, caramelos, papas de bolsa, etc.*

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca o menos de una vez al mes	28	13.3	13.3	13.3
	Más de dos veces en el mes	80	38.1	38.1	51.4
	Más de tres veces por semana	73	34.8	34.8	86.2
	Casi todos los días	26	12.4	12.4	98.6
	Diariamente	3	1.4	1.4	100.0
	Total	210	100.0	100.0	

El 34.8% los estudiantes mencionaron nunca o menos de una vez al mes, el lunch que comen todos los días, lo compran en la escuela o la calle, mientras que el 19% respondió que casi todos los días y el 18% más de tres veces por semana.

Tabla 6

El lunch que como todos los días lo compro en la escuela o la calle

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido Nunca o menos de una vez al mes	73	34.8	34.8	34.8
Más de dos veces en el mes	35	16.7	16.7	51.4
Más de tres veces por semana	39	18.6	18.6	70.0
Casi todos los días	40	19.0	19.0	89.0
Diariamente	23	11.0	11.0	100.0
Total	210	100.0	100.0	

Se encontró una correlación baja y significativa de $-.202^{**}$ lo cual demuestra que hay relación negativa en tener autoeficacia para la elección de alimentos saludables y hábitos de alimentación inadecuados (ver Tabla 7).

Tabla 7

Correlaciones entre las variables de estudio

		Hábitos de alimentación	Autoeficacia para la elección de alimentos saludables
Hábitos de alimentación	Correlación de Pearson	1	$-.202^{**}$
	Sig. (bilateral)		.003
	N	210	210
Autoeficacia para la elección de alimentos saludables	Correlación de Pearson	$-.202^{**}$	1
	Sig. (bilateral)	.003	
	N	210	210

******. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre autoeficacia y hábitos de alimentación en niños de educación primaria para el establecimiento de estrategias que ayuden a los niños en el mejoramiento de su alimentación.

Analizando los datos descriptivos que buscaron conocer cómo es la autoeficacia para la alimentación saludable y los hábitos de alimentación en los niños se obtuvo que los niños cuentan con puntuaciones altas en autoeficacia por lo que se sienten capaces de elegir alimentos que serán buenos para su salud sobre la comida chatarra lo cual es contradictorio con Trujano, et al., (2013) y Gómez, et al., (2019) similar con las investigaciones previamente revisadas (De la Cruz, et al., 2018; Rodríguez – Oliveros, et al., 2022).

Mientras que en el caso de los hábitos de alimentación donde se buscó describir qué tantos alimentos chatarra consumen los niños de educación primaria se encontró que los niños consumen altas cantidades de golosinas, dulces, frituras, papás de bolsa, caramelos entre otros productos y además la mayoría de ellos toma refrescos o jugos embotellados más de tres veces por semana lo que lo convierte en un problema por el alto contenido de azúcar que contienen estas bebidas y estos resultados también concuerdan con las investigaciones previamente revisadas (Martínez, 2018; Sánchez et al., 2014 y Nogueira-De Almeida, et al., 2015).

Se obtuvo una correlación negativa baja y significativa entre las variables de estudio lo cual demuestra que hay evidencia de que tener una alta puntuación en autoeficacia para alimentarse saludablemente reduce el consumo de alimentos chatarra ya que ambas variables tuvieron puntuaciones altas en su dato descriptivos (Nastaskin et al., 2015; Orji, Vassileva y Mandrynk, 2012; Rodríguez – Oliveros, et. al., 2022).

Se atribuye estos resultados a la presencia de otras variables como el disfrute de los alimentos chatarra, el ambiente físico y social en el que se desenvuelven los niños ya sea casa, escuela, y amigos o la susceptibilidad que ellos tengan sobre si pueden llegar a convertirse en personas obesas en el futuro que si bien esas variables no se midieron en este estudio pudieran estar presentes y tener una mayor relación de la que tienen la autoeficacia (Schneider, et. al., 2017).

Aedo, et al. (2015) sugieren que una adecuada intervención educativa aunada a la disponibilidad y promoción permanente de alimentos saludables dentro del plantel escolar, puede contribuir en la selección del alimento que se consume durante el recreo y, por lo tanto, conduce a la formación de hábitos alimenticios saludables y en un futuro en su buen

estado nutricional. Para lograr el éxito en la creación de medios ambientes escolares favorables a la salud es determinante lograr un compromiso de las autoridades escolares y convencerlos del importante papel que juegan en el combate al sobrepeso y la obesidad de sus estudiantes. Por lo demás este tipo de intervenciones solicita de la intervención de maestros, padres, autoridades y miembros de la comunidad; ya que todos juegan un papel transcendental en la modificación de las conductas hacia la salud.

Referencias

- Aedo, A., Gómez, T., Vivas, G., Suinaga, C., y Macías, A. (2015). Intervención educativa para la mejora de prácticas de alimentación y actividad física en escuelas primarias del estado de Quintana Roo. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 21(4), 9-16. DOI:10.14642/RENC.2015.21.4.5117
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: Freeman
- Barja-Fernández, S., Pino, M., Portela, I., y Leis, R. (2020). Evaluation of food habits and physical activity in Galician students. *Nutrición Hospitalaria*, 37(1), 93-100. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02668>
- De la Cruz, G., Guzman, R., Gomez, G., y Plata, R. (2018). Diferencias por sexo en la autoeficacia para el control de peso en preadolescentes de la ciudad de Pachuca, Hidalgo. *Gaceta Hidalguense de Investigación en Salud*, 6(3), 8-11.
- Gómez, E., y Samudio, M. (2012). Creencias y comportamientos saludables relacionados a las enfermedades crónicas no transmisibles en asistentes al Programa a su Riesgo del Instituto de Previsión Social. *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la salud*, 12(2), 43-58. <http://scielo.iics.una.py/pdf/iics/v12n2/v12n2a08.pdf>
- Gómez, G., Plata, S., y Pineda, G. (2019). Programa de autoeficacia hacia hábitos saludables para la prevención de la obesidad en escolares mexicanos. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes*, 6(1), 44-50. Doi: 10.21134/rpcna.2019.06.1.6
- Gómez, G., Platas, S., Pineda, G., Guzmán, R., y León, R. (2017). Validation of an instrument of selfefficacy for the prevention of obesity in school children. *Revista Mexicana de trastornos alimentarios*, 8, 21-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmta.2017.01.004>
- Guerrero, G., López, J., Villaseñor, N., Gutiérrez, C., Sánchez, Y., Santiago, L., Martínez, O., y Maya, N. (2014). Diseño y validación de un cuestionario de hábitos de vida de alimentación y actividad física para escolares de 8-12 años. *Revista Chilena de Salud Pública*, 18(3), 249-256. doi:10.5354/0719-5281.2014.33915
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. 4ta edición. Mc Graw-Hill.

- Martínez, M. (2018). *Hábitos alimenticios de los escolares de una escuela primaria en el municipio de Jocotitlán México*. (Tesis Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/104893>
- Nastaskin, R., & Fiocco, A. (2015). A survey of diet self-efficacy and food intake in students with high and low perceived stress. *Nutrition Journal*, 14(42), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0026-z>
- Nogueira-de-Almeida, C., Pires, A., Miyasaka, B., Khouri, J. Mathias, N., Ramos, M., Ramos, L., Ceccato, Y., Costa, V., y Maia F. (2015). Comparison of feeding habits and physical activity between eutrophic and overweight/obese children and adolescents: a cross sectional study. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 61(3), 227-233. <https://dx.doi.org/10.1590/1806-9282.61.03.227>
- Ochoa, G. (2013). *Factores conductuales y ambientales del consumo de frutas por escolares juarenses: La obesidad en el escolar, sus determinantes y soluciones* (pp. 133-152). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. https://www.researchgate.net/publication/321153554_Factores_conductuales_y_ambientales_del_consumo_de_frutas_por_escolares_juarenses_La_obesidad_en_el_escolar_sus_determinantes_y_soluciones
- Orji, R., Vassileva, J., & Mandryk, R. (2012). Towards an effective health interventions design: an extension of the health belief model. *Journal of Public Health Informatics*, 4(3), 1-31. <https://doi.org/10.5210/ojphi.v4i3.4321>
- Pérez, H. (2008). *Estadística para las ciencias sociales del comportamiento y de la salud*. 3ra edición. México: CENGAGE Learning.
- Rodríguez – Oliveros, G., Ortega, D., Rivera, M., y Frongillo, E. (2022). Self-efficacy and Social Settings Matter for Fostering Healthy Eating in Mexican Schoolchildren. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 54(12), 1066-1075. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2022.07.008>
- Rodríguez, R., & Cantero, M. (2020). Albert Bandura: Impacto en la educación de la teoría cognitiva social del aprendizaje. *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, (384), 72-76. <https://doi.org/10.14422/pym.i384.y2020.011>
- Sánchez, R., Reyes, H., y González, M. (2014). Preferencias alimentarias y estado de nutrición en niños escolares de la Ciudad de México. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 71(6), 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.bmhmx.2014.12.002>
- Schneider, S., Diehl, K., Görig, T., Schilling, L., De Brock, F., Hoffmann, K., Albrecht, M., Sontang, D., y Fischer, J. (2017). Contextual influences on physical activity and

eating habits -options for action on the community level. *BMC Public Health* 17, (760), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4790-x>

Tadayon, R. (2012). *Bandura's Social Learning Theory & Social Cognitive Learning Theory*. https://www.researchgate.net/publication/267750204_Bandura's_Social_Learning_Theory_Social_Cognitive_Learning_Theory

Trujano, P., Gracia, M. Nava, C. y Limón, G. (2013). Sobrepeso, obesidad e imagen corporal en preadolescentes mexicanos: factores relacionados y directrices de prevención. *Apuntes de Psicología*, 31 (3), 261-270.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/85069/1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Capítulo 11

Análisis de elementos y funciones de stakeholders sociales involucrados en la gestión del agua para su sustentabilidad, revisión sistemática

Zulema Isabel Corral Coronado

Elba Myriam Navarro Arvizu

María del Carmen Vásquez Torres

María Elvira López Parra

Resumen

La necesidad de desarrollar una gestión sustentable de los recursos naturales se ha visto acelerada por los constantes efectos negativos del cambio climático en la calidad de vida de las personas, en las condiciones de producción y en la salud de los ecosistemas naturales. En el caso del recurso agua, es aún más crítico por su relación directa e inherente con la vida humana, es por ello que, ante la escasez, se requiere el surgimiento de nuevos estilos de administración cuyo horizonte de tiempo se verá caracterizado por el riesgo y la incertidumbre. Esta investigación se enfoca en analizar cómo se configura una gestión que incorpora a todas las partes interesadas a partir del estudio de artículos publicados que relatan casos, retos y perspectivas. Se utiliza como metodología, los fundamentos de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas de publicaciones, los resultados muestran que en lo relativo al agua el sistema en el que se circunscribe es uno híbrido de lo ecológico y lo social, que en este último radica la oportunidad de crear valor a partir del sostenimiento de un bienestar común, fomentar la equidad entre los grupos sociales y preservar la democracia. Se concluye que incorporar a todas las partes interesadas enfatizando en aquellos que usualmente no están incluidos como son los usuarios finales, contiene los requisitos de gestión de stakeholders a partir del reconocimiento de sus intereses.

Palabras clave: agua, gestión sustentable, stakeholders

Introducción

El cambio climático ha hecho emerger la consideración de que los recursos naturales del planeta han cambiado de ser infinitos a finitos, según su disponibilidad que ha transitado de abundante a escasa, representado por los efectos que se han registrado en los diferentes ecosistemas, modificando la forma de vida habitual. Según la Organización Mundial de la

Salud (2021), contribuye de forma directa a las emergencias humanitarias causadas por olas de calor, incendios forestales, inundaciones, tormentas tropicales y huracanes; fenómenos que se relacionan con el incremento de la mortalidad y con un mayor costo de la vida.

El reconocimiento de la escasez de los recursos naturales ha causado un cambio en la perspectiva de su gestión en el corto y mediano plazo, como indican Rusmayadi et al. (2023) que la interacción entre desarrollo sustentable y la gestión de los recursos naturales se ha vuelto central para la conducción de las soluciones a retos globales, como el cambio climático, el agotamiento de los recursos y las desigualdades sociales que surgen ante este nuevo escenario.

Los efectos del cambio climático y del agotamiento de recursos naturales afecta de diferentes maneras a los grupos sociales, quienes enfrentan cambios en sus estilos de vida y hábitos de consumo cotidianamente, cuando pueden elegir, los usuarios pueden disminuirlo o volverlo más simple como concluyó Thogersen (2021) en su estudio bibliométrico, sin embargo, cuando algunas circunstancias conducen a reacciones que no permiten elegir entre opciones y los consumidores simplemente deben cambiar en la dirección que está les determina, aspecto que ante una marcada desigualdad social por una inequitativa distribución de los ingresos, coloca en situación vulnerable a esa proporción de la población.

Entre los casos de agotamiento de recursos naturales, lo relativo a la escasez de agua representa un caso especialmente crítico por los efectos sociales, económicos y ambientales que representa. En lo social, Hohenthal y Minoia (2017) lo relacionan con la vulnerabilidad, resiliencia y la capacidad de adaptación de las comunidades afectadas e individualmente conduce a una reducción de las capacidades humanas; en lo ambiental, la ausencia de agua causa mal funcionamiento de los ecosistemas y por ende de los servicios que producen para sí mismos y para los humanos. En el aspecto económico, Israilova et al. (2023) lo analizan en la cobertura de la dimensión del desarrollo económico, como insumo indispensable para la realización de actividades de producción e intercambio de bienes y servicios que generan a su vez externalidades positivas para su entorno.

Ante el reconocimiento de que el estado ecológico del agua está amenazado en todo el mundo debido a la creciente presión de las actividades humanas y a una gestión inadecuada como indican Franzén et al. (2015), conviene ampliar el enfoque de la administración del agua para incorporar además de elementos de riesgo en la disponibilidad de agua, hacia la creación de valor para la humanidad, los ecosistemas y los servicios

relacionados, con cuyo caso los procesos de planeación cambiarían radicalmente como relata Loucks (2017) quien inicia narrando la función tradicional de la administración del agua que consistía en desarrollar y administrar la infraestructura necesaria para distribuir agua en la calidad requerida por los humanos a niveles aceptables de confiabilidad y de costos, pero que en la actualidad requiere de ampliar esos límites para abarcar la conservación, tratamiento y reuso; que las consecuencias de no hacerlo afectarían a cada componente social y económico.

Además de los retos técnicos que menciona, se agrega que el contexto en el que se planea y se administra el agua debe cambiar, para ahora realizarlo en el ambiente de conflictos políticos por las diferentes expectativas de todas las partes interesadas usuarios del vital líquido, como en el caso de los involucrados en el Stakeholders Engagement Report, publicado por el United Nations Department of Economic and Social Affairs en 2023: organizaciones no gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, instituciones académicas, la comunidad científica, el sector privado, organizaciones filantrópicas, entre otros. Pero destaca la necesidad de asegurar la participación de mujeres, niños, jóvenes, personas de la tercera edad, personas con capacidades diferentes, comunidades indígenas y locales.

El objetivo de la gestión del recurso agua llama a lograr impactos positivos, reducción de riesgos de salud y mitigar los riesgos económicos de una escasez o disminución de agua para la sociedad, los ecosistemas y los sectores productivos, como establece la Organización para las Naciones Unidas (ONU, 2024), el agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente

Que la administración del agua suceda en un contexto que involucra a todas las partes interesadas o “stakeholders” como se le conoce en la teoría, requiere de la consideración de que los retos van más allá de lo técnico, a los sociales, ambientales y económicos representando la nueva forma de crear el valor alrededor del agua. Es necesario precisar que estos diferentes usuarios tienen diferentes motivaciones y necesidades que cubren con el uso y consumo de agua por lo que también son el origen de la interconectividad de los sistemas de agua que menciona Loucks (2017), situación que cada problema es probablemente el síntoma de un problema social más grande y generalmente la solución propuesta a un problema de agua, involucra una inversión

económica sustancial y riesgos políticos. Según el autor, en este escenario complejo las buenas decisiones conducen a incrementar el bienestar social, las malas no.

En este punto que reconoce la función central del agua en la creación y sostenimiento de bienestar común universal por su contribución a mantener a la humanidad y a los ecosistemas con vida, además de los servicios asociados, ambientales y económicos, los estudios sobre los stakeholders permiten comprender el rol de cada una de las partes interesadas en la gestión del agua para considerar su perspectiva en el diseño de las soluciones en el horizonte de tiempo. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión sistemática de los casos de gestión documentados en artículos sobre el recurso agua que incorporan a stakeholders, específicamente a los sociales, identificando el funcionamiento y sobre todo cómo incorporan las diferentes perspectivas en la toma de decisiones ante los cambios que se ocasionan con el cambio climático. Aunque se amplía la explicación en la sección correspondiente al método, las bases de datos que se utilizaron son Scimedirect, Elsevier y Emerald, el periodo de tiempo de los documentos analizados se establece de 2010 a 2024.

El concepto de stakeholders proviene de la teoría reciente del management, como una forma de incorporar a la empresa las acciones necesarias para abordar la preservación del bien común (o su disminución) en el que participan diferentes actores sociales o económicos, es decir, todas las partes interesadas en ello. Para Hillson y Simon (2020) un stakeholder es cualquier persona que esté interesada en los resultados de un proyecto y posee habilidad para ejercer influencia. Zakaría et al. (2023) por su parte, lo definen como cualquier persona o grupo de personas, organizadas o no que comparten un interés personal o apuesta en un asunto o sistema particular, pueden estar en cualquier nivel o posición en sociedad; y la gestión de stakeholders es el proceso que sistemáticamente encuentra quienes son las partes interesadas, haciendo planes y trabajando en conjunto con ellos.

Más allá de asumir conflicto de intereses entre las partes involucradas, existe un interés común que puede y debe aglutinar a los actores clave en la administración del sistema (de almacenamiento y distribución) de agua, qué es garantizar la sustentabilidad de ese recurso para los horizontes de tiempo corto, mediano y largo plazo, para el sector social del consumo humano, como afirmaban Biswas y Dune desde 1971. pero también para los otros sectores que además de realizar su propia actividad de interés, generan beneficios para el propio sector social.

Método

El tipo de investigación es cualitativa y no experimental, el método utilizado para desarrollar este documento es la revisión sistemática utilizando específicamente la Declaración PRISMA, siglas que corresponden a Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses versión 2020 traducción publicada por la Revista Especializada de Cardiología en 2021 realizada por Page et al. (2021), que posteriormente fue utilizado por Sánchez et al. (2022) aplicándolo a una investigación basada en bases de datos bibliográficas en el sector educativo; por otra parte, la Universidad de Navarra (2024) los utiliza como guías oficiales.

Los meta – análisis son esenciales para desarrollar revisiones sistemáticas ya que proveen evidencia rigurosa de las formas mediante las cuales está siendo analizado en la actualidad el objeto de estudio en cuestión (Gusenbauer y Haddaway, 2020), incluyendo cuando es el caso, la modelación de un fenómeno con ciertas variables explicativas, cuya incorporación es ya un evento importante a ser reportado, la validación de relaciones causales entre variables que intervienen, métodos y procedimientos.

Los materiales a utilizar son artículos publicados en revistas que pertenecen a las bases Sciencedirect, Elsevier y Emerald, publicados entre los años del 2010 al 2024, para analizar los casos documentados más recientes que contienen las últimas manifestaciones del cambio climático que se han intensificado en los últimos periodos por la acumulación de los efectos del calentamiento global (National Aeronautic and Space Administration [NASA], 2024).

El procedimiento a utilizar para generar los resultados es el siguiente (Page et al., 2021)

1. En una revisión sistemática es crucial definir explícitamente los objetivos o las preguntas que aborda la revisión. Las que corresponden a este análisis son los siguientes:
 - a) ¿Qué elementos contienen el enfoque social en la gestión?: Cambios que implican en la administración de los recursos sobre el agua al incorporar la perspectiva de todas las partes interesadas.
 - b) ¿Cuáles son los intereses sociales, como uno de los ejes que al incorporarlo permiten la creación de valor en torno al agua hacia el logro y/o preservación del bien común?
 - c) ¿Cuáles son las funciones de la incorporación de stakeholders en la gestión del agua?.

2. Otro aspecto medular es definir los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y como se agruparon los estudios para la síntesis. Respecto a este punto se delimitó la búsqueda a documentos publicados del 2010 al 2024, ya que el fenómeno de cambio climático, aunque no es nuevo, ha profundizado en los últimos años los efectos en los ámbitos sociales, económicos y ambientales, modificando la forma en que se actúa en torno al ambiente, reaccionando ante los impactos presentados intentando mitigarlos (ONU, 2024).
3. El método de síntesis y elección de los artículos se realizó con base en lo siguiente:
 - a. Aquellos artículos que tratan sobre stakeholders y agua.
 - b. Aquellos que mencionan el proceso de gestión tanto técnico como social.
 - c. La problemática o retos de administrar la sustentabilidad de este recurso ante ambos enfoques.
 - d. Los que consideran a la sociedad (civil) en la organización.
 - e. Las funciones que se le asignan.

Resultados

Los resultados de la revisión sistemática sobre incorporación de stakeholders sociales para la gestión del agua se presentan en la tabla 1, que se muestra a continuación. Contiene los 3 ejes de análisis mencionados en la sección anterior y en cada columna se mencionan los resultados según el rubro de análisis de los artículos analizados que provienen de las fuentes indicadas en la sección anterior y se eligieron siguiendo el criterio establecido sobre los años.

Tabla 1

Revisión sistemática de literatura sobre gestión de stakeholders para una administración del agua con enfoque social

Titulo / autor	Gestión social	Intereses sociales	Funciones
Stakeholder engagement strategies for impactful corporate social innovation initiatives by multinational enterprises. Saka et al. (2024)	Reconocer los objetivos y motivaciones de las diferentes partes interesadas o stakeholders. Crear soluciones para los diferentes grupos sociales.	Crear valor social. Direccionar problemas sociales. Satisfacer necesidades sociales a costos mas bajos. Administrar el impacto en: El bien común La equidad El ambiente	Administrar las expectativas de los stakeholders. Disminuir la tensión por los objetivos en conflicto de los stakeholders. Crear capacidades entre partes interesadas para

		La democracia	tomar decisiones en torno a sus objetivos. Crear capacidades de comunicación y coordinación entre partes interesadas.
Stakeholder analysis for effective implementation of water management system: Case of groundwater charge in South Korea. Lee et al. (2024).	Reconocer intereses en conflicto y dinámicas que obstaculizan la incorporación de stakeholders al proceso de toma de decisiones.	Alentar el cambio de paradigma necesario para posibilitar la implementación efectiva de políticas ambientales para la preservación del recurso agua.	Incorporar la visión del bien común, justicia o sustentabilidad ambiental de esos grupos. Reconocer a los grupos con capacidad de ejercer influencia. Distinguir la intensidad de los grupos entre intereses y poder para influir.
Assessing stakeholder structure in water governance in the Murray-Darling Basin, a public submission perspective. Hong et al. (2024)	Transformar la gobernanza tradicional de recursos naturales (entre ellos el agua) a una colaborativa, ampliar el alcance a todos los stakeholders involucrados.	Introduce métricas como inclusión, cohesión, centralización, eficiencia y la intermediación.	Distinguir el rol de los stakeholders según las siguientes clasificaciones: dominantes, intermediarios y comunicadores.
Social impact assessment (SIA) of the Tamale viaduct project in Ghana: Stakeholders management practices, better or worse? Zakaria et al. (2023)	Definir los intereses de cada grupo según el grado de que el proyecto en cuestión le afecta.	Establecer comunicación e interlocución para conseguir una genuina comprensión de cómo las partes son afectadas. Promover y mejorar la toma de decisiones de todas las partes interesadas.	Establecer un plan de compromiso con los stakeholders.
Power, perspective, and privilege: The challenge of translating stakeholder theory from business management to environmental and natural resource management. Colvin, et al. (2020)	Partir de los intereses que cada stakeholder mantiene con el recurso natural (agua en este caso) que generan la relación, conflictos y dinámicas que incidirán en el proceso de toma de decisiones.	Identificar a las partes interesadas y categorizar por: a) su capacidad de ejercer presión sobre la toma de decisiones. b) Su vulnerabilidad en la exposición de impactos generados por la toma de decisiones	Reconocer a los grupos con capacidad de ejercer influencia. Distinguir la intensidad de los grupos entre intereses, poder para influir y exposición a sufrir cambios negativos.

Improving the management of water multi-functionality through stakeholder involvement in decision-making processes. Casadevall (2016)	Enfoque que reconoce al recurso agua como un ciclo hidro-social, que considera inseparables a los aspectos sociales y físicos del agua.	Diferenciar prioridades de las partes interesadas, de los sectores público, privado, comunidades rurales y sociedad civil.	Promover la participación de los stakeholders para obtener una comprensión más profunda de los problemas y de las soluciones que pueden surgir.
Institutional development for stakeholder participation in local water management— An analysis of two Swedish catchments. Franzén et al. (2015).	Establecer los requerimientos de la participación de los stakeholders en la gestión local del agua en relación con las necesidades actuales, ya que cada región contiene su propia circunstancia.	Conciencia de los sistemas socioecológicos, como los sistemas hídricos, como cambiantes, no lineales y complejos. La cultura es determinante de los estilos de participación de los stakeholders. Argumentos normativos de la participación: mejorar democracia y derechos humanos básicos.	Una organización que involucra a partes interesadas clave, comprometidas con el alcance y los objetivos de la gestión del agua y dispuestas a proporcionar recursos para la implementación de las actividades planificadas. Liderazgo que impulse el proceso de alcanzar los objetivos específicos y evaluar el resultado. Participación voluntaria en la implementación de medidas y contribuir con conocimientos y experiencias sobre las condiciones locales.

Fuente: Elaboración propia.

El principal hallazgo de esta revisión de documentos publicados es el reconocimiento de que el recurso agua está inmerso en un sistema social que incorpora mayores elementos que solo aquellos físicos y técnicos, al que incluso han denominado como “sistema hidro – social” (Casadevall, 2016), que induce a considerar que el logro del bien común, la equidad y la democracia (Saka et al. 2024) amplía el escenario para el diseño de estrategias de corto, mediano y largo plazo, la necesidad de recursos podría ser mayor, pero sobre todo requiere un incremento en la capacidad de gestión.

Discusión

Lo que se espera en relación a la gestión del agua, en palabras de Loucks (2017) es el incremento de las poblaciones acompañado por incrementos en el consumo de agua per

cápita como símbolo de la mejora en la calidad de vida, que creará demandas sustancialmente más grandes, causando aumento en la competencia por el agua de la agricultura, industria y el sector de producción de energía. Ante ese escenario la eficiencia en el uso de agua será aún más crucial.

El potencial de crear valor a partir de una óptima, eficiente administración del agua, va más allá de la eficiencia técnica y se desarrolla en la incorporación de stakeholders en la dimensión social y sus procesos de desarrollo. Sin embargo, un problema que identificaron Saka et al. (2024) es que algunos stakeholders podrían no estar en disposición de suficiente conocimiento para participar en la compleja tarea de planear y administrar los recursos para la sustentabilidad del agua, por lo que conviene citar a Lee et al. (2024) para decir que la educación ambiental es la única vía posible para alentar el cambio necesario de paradigma para posibilitar la implementación efectiva de las políticas necesarias, configurando así el escenario de gestión social del agua.

Otros elementos de la gestión social son: 1) la identificación de los intereses por los cuales la sociedad civil participa y/o se ve afectada por un determinado estilo de administración, 2) la categorización de la participación: por su poder de influir, por su exposición a los riesgos que se deriven y por su participación en la provisión o deterioro del bien común; 3) la transformación de la gobernanza del recurso agua a un estilo participativo. Respecto a los intereses sociales, los que predominan refieren a la creación de valor y bienestar común, produciendo soluciones en torno a la disponibilidad de agua a mejores costos; reducir la vulnerabilidad por la estructura social, considerar el logro de resultados sociales como la inclusión y la cohesión, con lo que se propicia la democratización del uso de este recurso.

En lo analizado, la incorporación de stakeholders a la gestión de agua fue documentada por Lee et al (2024), Zidane et al. (2015) y Zakaríá et al. (2023); los aspectos sociales de los stakeholders fueron estudiados por Saka et al. (2024), Lukasiewicz & Dare (2016), Lee et al. (2024), Colvin et al. (2020), Zakaríá et al. (2023), Casadevall (2016) y Hong (2024). Otros sólo refieren a los stakeholders que forman parte de la actividad económica como Franzén et al. (2015), en una visión más tradicional. Finalmente, mediante la revisión sistemática llevada a cabo se ha identificado que la incorporación de stakeholders o partes interesadas a la gestión del agua implica una capacidad de gestión que se orienta al logro de objetivos sociales además de los usuales de eficiencia y optimización, al reconocimiento que algunos problemas no pueden ser resueltos en algún camino sustentablemente óptimo, sólo puede ser mitigado.

Referencias

- Biswas, K. A., & Dune, W. R. (1971). Sociological aspects of water development1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 7(6), 1137-1143. <https://doi.org/DOI:10.1111/j.1752-1688.1971.tb05051.x>
- Casadevall, R. S. (2016). Improving the management of water multi-functionality through stakeholder involvement in decision-making processes. *Utilities Policy*, 43, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.04.015>
- Colvin, R. M., Witt, B. G., & Lacey, J. (2020). Power, perspective, and privilege: The challenge of translating stakeholder theory from business management to environmental and natural resource management. *Journal of Environmental Management*, 271, 110974. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.11097>
- Franzén, F., Hammer, M., & Balfors, B. (2015). Institutional development for stakeholder participation in local water management—An analysis of two Swedish catchments. *Land Use Policy*, 43, 217-227. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.11.013>
- Gusenbauer, M., & Haddaway, R. N. (2020). Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. *Research Synthesis Methods*, 11(2), 181-217. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1378>
- Hillson, D. & Simon, P. (2020). *Practical Project Risk Management* (B. K. Publishers, Ed. Third ed.). Berret - Koehler Publishers, Inc.
- Hohenthal, J. & Minoia, P. (2017). (2017). Social aspect of water Scarcity and Drought. In *Handbook of Drought and Water Scarcity 1*, 607 - 626. CRC Press, Taylor & Francis LTD.
- Hong, P., Wei, Y., Bouckaert, F., Johnston, K., & Head, B. (2024). Assessing stakeholder structure in water governance in the Murray-Darling Basin, a public submission perspective. *Environmental Science & Policy*, 156, 103746 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103746>
- Israilova, E., Voronina, A., & Shatila, K. (2023). Impact of water scarcity on socio-economic development. *E3S Web of Conferences*, 458, 08027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345808027>

- Lee, M., Yoon, J.-H., Yang, E. J., Namkoong, S., & Kim, H. (2024). Stakeholder analysis for effective implementation of water management system: Case of groundwater charge in South Korea. *Heliyon*, 10(3), e24699.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24699>
- Loucks, P. D. (2017). Managing Water as a Critical Component of a Changing World. *Water Resources Management*, 31(10), 2905-2916. [https://doi.org/DOI 10.1007/s11269-017-1705-7](https://doi.org/DOI%2010.1007/s11269-017-1705-7)
- Lukasiewicz, A., & Dare, L. M. (2016). When private water rights become a public asset: Stakeholder perspectives on the fairness of environmental water management. *Journal of Hydrology*, 536, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.045>
- National Aeronautics and Space Administration. (2024). *The Effects of Climate Change*. <https://science.nasa.gov/climate-change/effects/>
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021). *Cambio climático*. Consultado en 2024. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health#:~:text=El%20cambio%20climático%20ya%20afecta,las%20zoonosis%20y%20las%20enfermedades>
- Organización para las Naciones Unidas [ONU] (2024). *Desafíos globales, agua*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Organización para las Naciones Unidas [ONU] (2024). *¿Qué es el cambio climático?* <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Page, M. M., J. Bossuyt, P. et al (2021). Declaración PRISMA para revisiones sistemáticas. *Revista Especial Cardiología*, 74(9), 790.
<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Rusmayadi, G., Nofirman, & Fadhihi, A. (2023). Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies for Sustainable Resource Management. *West Science Journal Economic and Entrepreneurship*, 1(03), 144-154. <http://dx.doi.org/10.58812/wsjee.v1i03.162>
- Sánchez, S., Pedraza, I. & Donoso, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA? *Bordón. Revista de Pedagogía*, 74(3), 51-66.
<https://doi.org/https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95090>
- Saka, A., Álamos, P., López, M., Hagan, J., Murray, G., Edwards, T. & Zhang, E. (2024). Stakeholder engagement strategies for impactful corporate social innovation initiatives by multinational enterprises. *Journal of International Management*, 101159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intman.2024.101159>

- Thøgersen, J. (2021). Consumer behavior and climate change: consumers need considerable assistance. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 42, 9-14.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.02.008>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2023). *Stakeholders Engagement and Impact Reporting, Summary of Key Activities*. United Nations 2023 Water Conference. (PDF). <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-05/Stakeholder%20Engagement%20Report%20-%20UN%202023%20Water%20Conference%20%281%29.pdf>
- Universidad de Navarra. (2024). Biblioguías, revisiones sistemáticas.
https://biblioguias.unav.edu/revisionessistematicas/guias_oficiales
- Zakaria, A. Y., Iddrisu, I. T., & Arthur, K. B. (2023). Social impact assessment (SIA) of the Tamale viaduct project in Ghana: Stakeholders management practices, better or worse? *Heliyon*, 9(3), e14249.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14249>
- Zidane, J. Y., Johansen, A., Ekambaram, A., & Hald, C. L. (2015). When Stakeholders Shape Successes or Bring Failures – A Case Study of an Algerian Megaproject. *Procedia Computer Science*, 64, 844-851.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.637>

Capítulo 12

Evaluación de las descargas de aguas residuales porcícolas y su potencial uso agrícola en el estado de Sonora

Juan Francisco Maldonado Escalante

Denisse Serrano Palacios

Edna Rosalba Meza Escalante

Luis Humberto Álvarez Valencia

Resumen

La escasez de agua y la contaminación de fuentes hídricas por efluentes agroindustriales sin tratar son problemas ambientales apremiantes. Las aguas residuales de granjas porcícolas (ARGP) contienen altas cargas de materia orgánica, nutrientes y patógenos que deterioran la calidad del agua. Este estudio evaluó las características fisicoquímicas de las aguas residuales de cuatro granjas porcícolas en Sonora, México, y estimó el potencial de recuperación de agua, nitrógeno y fósforo mediante simulación. Las ARGP presentaron concentraciones superiores a los límites permisibles de DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo. La simulación de un proceso de digestión anaerobia con una alimentación de 50 m³/día de aguas residuales proyectó una recuperación diaria de 33.5 m³ de agua tratada y 10 toneladas de biofertilizante con 8542 mg/l de carbono orgánico total, 340 mg/l de fósforo total y 1938 mg/l de nitrógeno amoniacal. Los resultados demuestran que, si bien las granjas porcícolas generan efluentes contaminantes, un tratamiento adecuado permite recuperar agua y nutrientes valiosos, contribuyendo a mitigar la escasez hídrica y promoviendo la economía circular en la agricultura.

Introducción

El tema del recurso agua y la problemática por su escasez es uno de los principales temas a nivel mundial, nacional y regional, conquistando el interés y la atención de la población mundial. Por otro lado, las granjas porcícolas han causado la generación de problemas ambientales debido a la degradación de recursos naturales como el agua, provocando que las descargas de efluentes residuales contaminen y deterioren la calidad física, química y microbiológica de este recurso a través de contaminantes como nitrógeno, fósforo, metales pesados, microorganismos patógenos, hormonas y medicamentos de uso veterinario (Villamar et al., 2012; Mofokeng et al., 2016). Ante la diversidad de contaminantes generados en las aguas residuales, el tratamiento de estos se presenta como una

oportunidad para el aprovechamiento de elementos de interés, tales como el biogás y fertilizantes orgánicos. Asimismo, la reutilización de las aguas residuales tratadas ha sido una alternativa importante para el riego en la agricultura, con una amplia aceptación en muchas partes del mundo. Las aguas residuales son importantes para equilibrar la demanda y la oferta de agua para diversos usos (Winpenny, et al., 2013; Guest et al., 2016)). Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar las características fisicoquímicas de las aguas residuales porcícolas y su potencial uso mediante modelización para agua de riego y obtención de biofertilizantes en el estado de Sonora.

Fundamentación teórica

Un Informe presentado en el año 2021 por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), han reflejado que, durante los últimos años, millones de personas de todo el mundo se quedarán sin acceso a servicios del recurso de agua potable, saneamiento e higiene en el hogar gestionados de manera segura antes del año 2030.

En el año 2020, alrededor de una de cada cuatro personas carecía de una fuente de agua potable gestionada en su hogar y casi la mitad de la población mundial no tenía acceso a servicios de saneamiento gestionados de manera segura, haciendo manifiesto el gran problema del agua a nivel mundial y la necesidad no solamente de obtener nuevas fuentes de agua, si no también cuidar y aprovechar aquellas que ya tenemos a nuestro alcance.

Las aguas residuales se han visto solamente como un problema debido al nulo o ineficiente tratamiento que se les da. Por ejemplo, Cervantes et al. (2007) reportó que, en el estado de Sonora, México, la industria porcina ha provocado efectos severos en el ambiente por la acumulación de desechos sólidos sin tratar y por la contaminación de diferentes cuerpos de agua donde son descargadas sus aguas residuales. Así mismo, otro estudio ha reportado que en México el 28% de las descargas de granjas porcinas no son tratadas (Victoria-Almeida et al., 2008).

La reutilización de las aguas residuales “tratadas” como método alternativo han empezado a ser una de las opciones más estudiadas en regiones donde la escasez de agua ha comenzado a ser un problema más grave. Esto se debe a que los efectos del cambio climático han ocasionado un desabastecimiento del recurso agua para sistemas de producción agrícola, provocando desde inundaciones y sequías hasta un aumento de la variabilidad de las lluvias y la subida de las temperaturas, siendo el estrés hídrico y la

escasez de agua notables (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

Las descargas o efluentes agroindustriales una vez que pasan por un proceso anaerobio pueden ser aprovechados de distintas maneras, tales como nutrir los suelos agrícolas como medio de biofertilizantes. Por tanto, la producción de lodos previamente estabilizados en una planta de tratamiento, puede alcanzar beneficios importantes dependiendo del tipo de tratamiento o uso que se les dé para el mejoramiento de suelo en la agricultura (Jamil et al., 2006; Salcedo-Pérez et al., 2007).

Los macronutrientes nitrógeno y fósforo son esenciales para la vida en la Tierra. Sin embargo, su eliminación de las corrientes residuales también es fundamental para mitigar el problema medioambiental de la eutrofización de las masas receptoras de agua. Existe una gama de tecnologías que pueden lograr este objetivo; sin embargo, la nitrificación y desnitrificación biológica es el proceso más utilizado hoy en día para eliminar-recuperar el nitrógeno y el fósforo, respectivamente. A medida que disminuyen los depósitos de fósforo fácilmente extraíbles y que la huella energética desempeña un papel cada vez más importante en la producción de fertilizantes nitrogenados, la recuperación de nitrógeno y fósforo del flujo de residuos cobra cada vez más importancia. Esta práctica está en consonancia con un cambio de paradigma en el que el flujo de residuos no sólo se considera un elemento de coste (para eliminar los contaminantes del mismo con el fin de cumplir la normativa medioambiental), sino un portador de recursos extraíbles (Sengupta et al., 2015; Siciliano et al., 2020).

Método

Lugar de muestreo. Se seleccionaron 4 granjas porcícolas ubicadas en el Valle del Yaqui donde las 4 granjas presentaban al menos una laguna de evaporación como sistema de tratamiento de aguas y todas descargaban sus aguas en los drenes colectores. El muestreo se realizó durante el mes de abril del 2022 y se tomaron al menos 10 l de agua residual generadas en las granjas porcícolas previo al tren de tratamiento de las aguas y al menos otros 10 l de aguas residuales en el punto de descarga a los drenes colectores de cada granja porcícola, las cuales se guardaron en hielera a 4 °C hasta su llegada al laboratorio de Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales (LTAAR) del edificio de Laboratorios de Investigación en Ingeniería Química y Alimentos (LIQQA) en el Instituto Tecnológico de Sonora campus Náinari, para su posterior análisis.

Parámetros fisicoquímicos. Se determinaron los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a lo establecido en el Standard Methods (Tabla 1).

Tabla 1*Parámetros fisicoquímicos y método analítico utilizado para este estudio*

Parámetro	Método analítico
pH.	Método potenciométrico (4500-H ⁺ del Standard Methods APHA,2001).
Demanda Química de Oxígeno total (DQO)	Método de HACH (5220 del Standard Methods APHA,2001)
Nitrógeno en forma de Amonio (N-HN ₄ ⁺).	Método de la sal de fenol (4500-D del Standard Methods APHA,2001)
Nitrógeno en forma de Nitritos (N-NO ₂ ⁻).	Método colorimétrico (4500-B del Standard Methods APHA,2001).
Nitrógeno en forma de Nitratos (N-NO ₃ ⁻).	Método espectrométrico UV selectivo (4500-B del Standard Methods APHA,2001)
Fosforo en forma de Fosfatos (P-PO ₄ ⁻³).	Método del ácido ascórbico (4500-P.E del Standard Methods APHA,2011).
Sólidos suspendidos totales (SST)	Método estándar (250 del Standard Methods APHA,2011).

Análisis de datos

Los parámetros fisicoquímicos se realizaron por triplicado y se reportó la media de los valores obtenidos, al igual que para estimar la recuperación de Nitrógeno y Fósforo. Todos los procedimientos se realizaron con el programa EXCEL® (Microsoft, 2016).

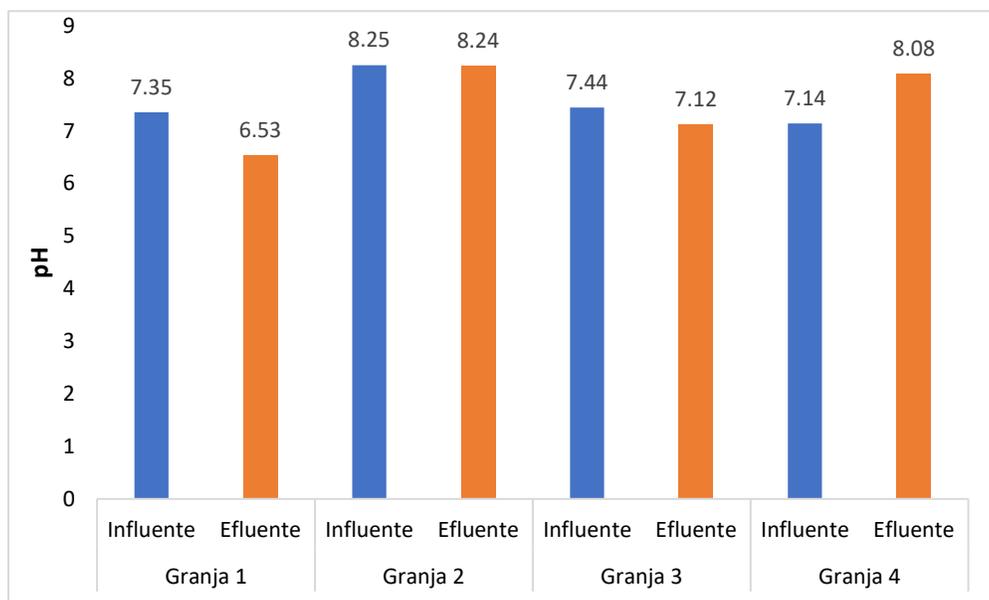
Estimación de recuperación de Nitrógeno y Fósforo. Para estimar el potencial de recuperación de nitrógeno y fosforo proveniente de las aguas residuales porcícolas se utilizó el programa SuperPro Designer, donde se estableció un proceso de dos etapas en reactores anaerobios (biodigestores), con una salida a un absorbedor para la purificación del biogás y la otra el digestato que va dirigido a secar los lodos hasta un 20% de sólidos. Se realizó una base de cálculo con un flujo de entrada de 50 ton/día de carga orgánica másica total, con un porcentaje del 95% de agua y un 5% de sólidos dentro de dos tanques continuos, donde se dan los procesos de hidrólisis y posteriormente pasar a un segundo biodigestor donde se llevan las etapas de acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis dando como producto final biogás y el biofertilizante.

Resultados y discusión

Parámetros fisicoquímicos. Se ha informado de que un pH muy alto o muy bajo es tóxico para la vida acuática y altera la solubilidad de otros contaminantes químicos, así como de algunos elementos esenciales en los sistemas hídricos, causando así efectos adversos en el ecosistema y de quienes dependen de él (Odjadjare y Okoh, 2010). Los valores de pH que se obtuvieron en este estudio se encuentran (Figura 1) en un rango de 7.14 a 8.25, mientras que los efluentes mostraron valores desde 6.53 hasta 8.24, donde el efluente de la granja 1, fue la única que mostro un pH ligeramente ácido (6.53). Estos valores son congruentes con lo reportado por Boursier et al., (2005) quien reporta un pH en un rango de 6.5 a 7.5 para aguas residuales porcinas y se encuentran dentro de los límites permisibles (6-9) por la NOM-001-SEMARNAT 2021.

Figura 1

pH de influente y efluente de las granjas estudiadas

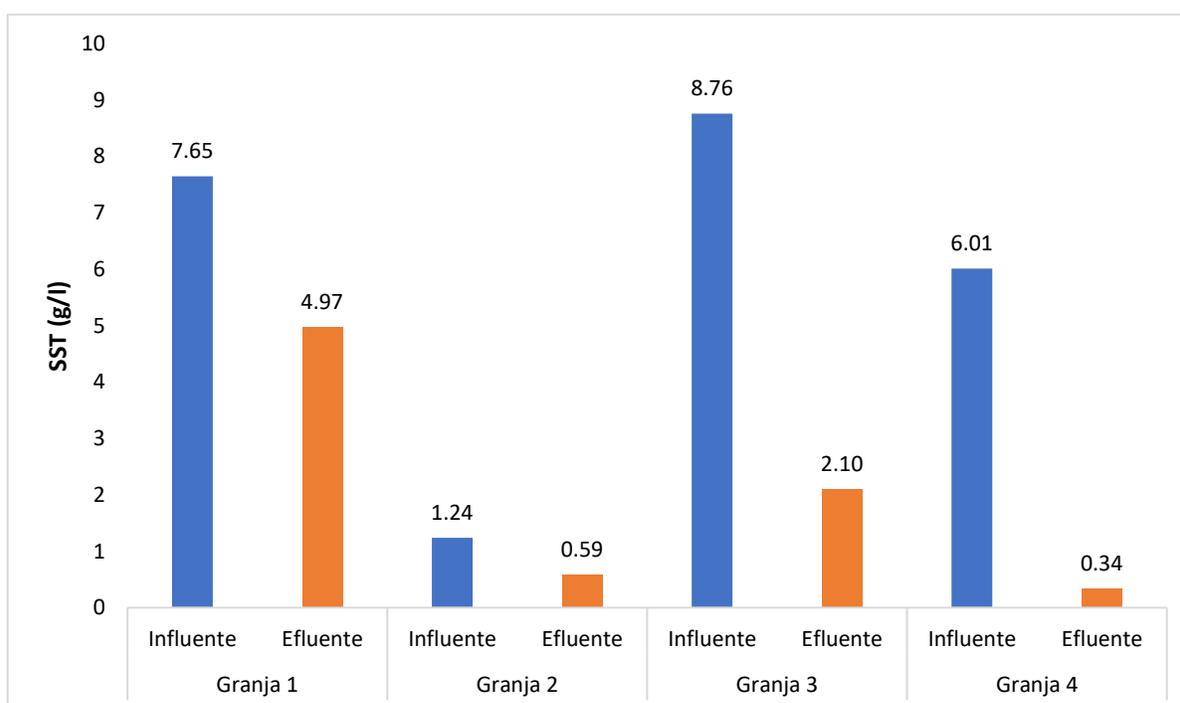


Se considera que los SST son uno de los principales contaminantes que contribuyen al deterioro de la calidad del agua, lo que supone un aumento de los costes de tratamiento del agua, una disminución de los recursos pesqueros y de la estética general del agua (Bilotta y Brazier, 2008). Los SST en el influente variaron desde 1.24 hasta los 8.76 g/l (Figura 2) y en el efluente desde 0.34 hasta 4.97 g/l. Se hace notar que presentaron porcentajes de remoción muy diversos, para las granjas 4 y 3 se obtuvo una remoción del 94.3 y 76.1 % respectivamente, mientras que las granjas 1 y 2 fue de 35 y 52.5%

respectivamente y en ninguno de los casos la concentración de SST en el efluente cumple con lo establecido en la NOM- 001- SEMARNAT 2021, la cual determina un Límite Máximo Permisible (LMP) de 84 mg/l de SST como valor instantáneo para aguas residuales que se vierten en ríos, arroyos, drenes y canales. Estos porcentajes de remoción podría deberse a que en México y específicamente Sonora, son casi nulas las estrategias de tratamiento primario en granjas de cerdo encaminadas a eliminar sólidos mediante procesos de separación física (Garzón-Zúñiga y Buelna, 2014).

Figura 2

*Concentración de SST de influente y efluente de las granjas estudiadas. *valor por encima del LMP de la NOM -001- SEMARNAT 2021*

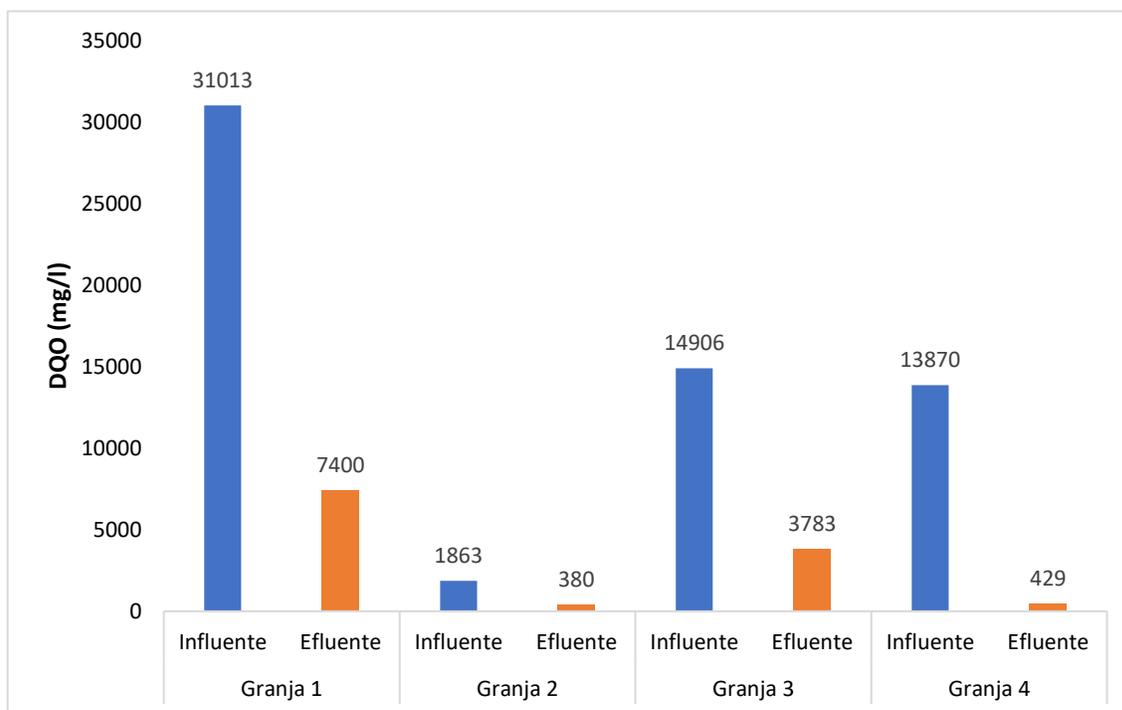


La DQO se utiliza ampliamente como medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en las masas de agua y en los residuos municipales e industriales. La prueba de la DQO del agua natural proporciona la cantidad total de oxígeno necesaria para la oxidación de un residuo en dióxido de carbono y agua (McCutcheon et al., 1992). Las aguas residuales porcícolas se caracterizan por su alta concentración de DQO que pueden ir desde los 6 000 hasta 50 000 mg/l de acuerdo a lo publicado por Boursier et al. (2005). En este estudio las concentraciones de DQO en el influente (Figura 3) van desde los 3 783 hasta los 31 013 mg/l y los sistemas de remoción

presentan una eficiencia del 74.6 (granja 3) hasta el 96.9 % (granja 4), sin embargo, en ninguno de los casos se cumple con los LMP establecidos en la NOM-001-SEMARNAT 2021.

Figura 3

*Concentración de DQO de influente y efluente de las granjas estudiadas. *valor por encima del Límite Máximo Permisible de la NOM 001 SEMARNAT 2021*



En lo que respecta al nitrógeno y sus especies en las aguas residuales porcícolas se puede observar en la Tabla 2, que tanto en el influente como en el efluente el amonio es el más abundante, seguido de los nitratos y por último los nitritos con porcentajes respecto al nitrógeno total de 94.6 a 98.9, 1.1 a 5.4 y 0.002 a 0.05, respectivamente.

Tabla 2

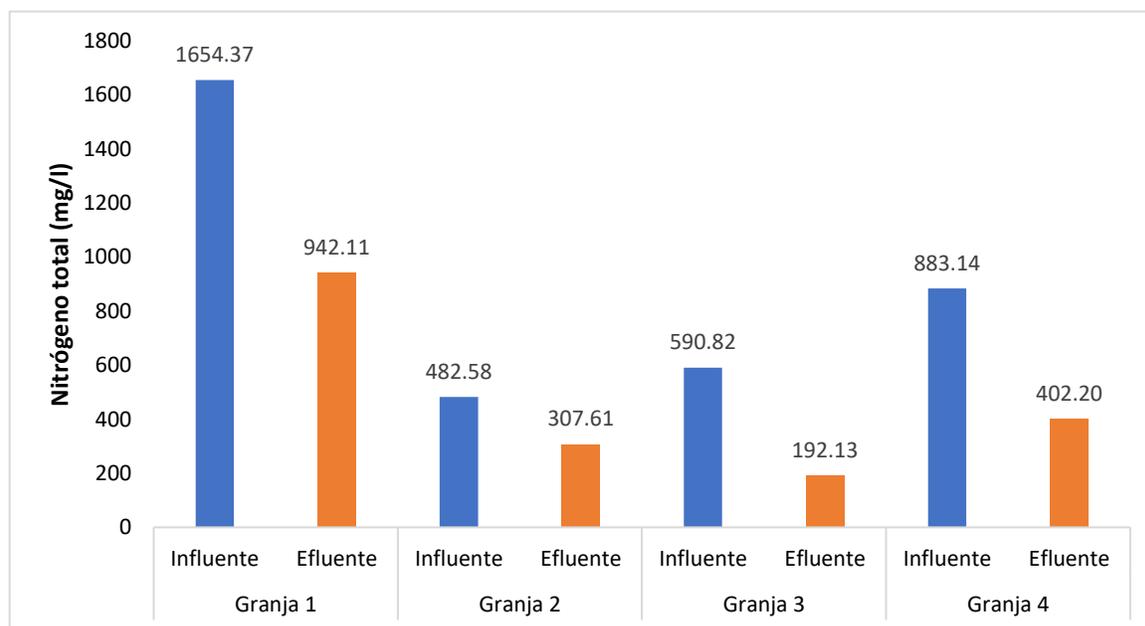
Concentración (mg/l) de amonio, nitritos y nitratos en influente (I) y efluente (E) de las granjas estudiadas

	Granja 1		Granja 2		Granja 3		Granja 4	
	I	E	I	E	I	E	I	E
Amonio	1611	926	471	304	559	183	849	398
Nitritos	0.93	0.03	0.19	0.02	0.17	0.06	0.17	0.01
Nitratos	42.44	16.08	11.39	3.59	31.65	9.07	33.97	4.19

Para determinar una aproximación del nitrógeno total se sumaron todas las especies nitrogenadas (Figura 4), se puede observar que la concentración del influente va desde los 590.82 hasta los 1654.37 mg/l, y el efluente desde los 192.13 hasta los 942.11 mg/l. Por otro lado, la mayor eficiencia de remoción fue para la granja 3 con un 67.5%, seguido de la granja 4 con un 54.5%, luego la granja 1 con 43.1% y por último la granja 2 con un 36.3%, siendo las remociones insuficientes para cumplir con los 35 mg/l de nitrógeno como LMP establecido por la NOM- 001- SEMARNAT 2021, para descargas en ríos, arroyos, drenes y canales.

Figura 4

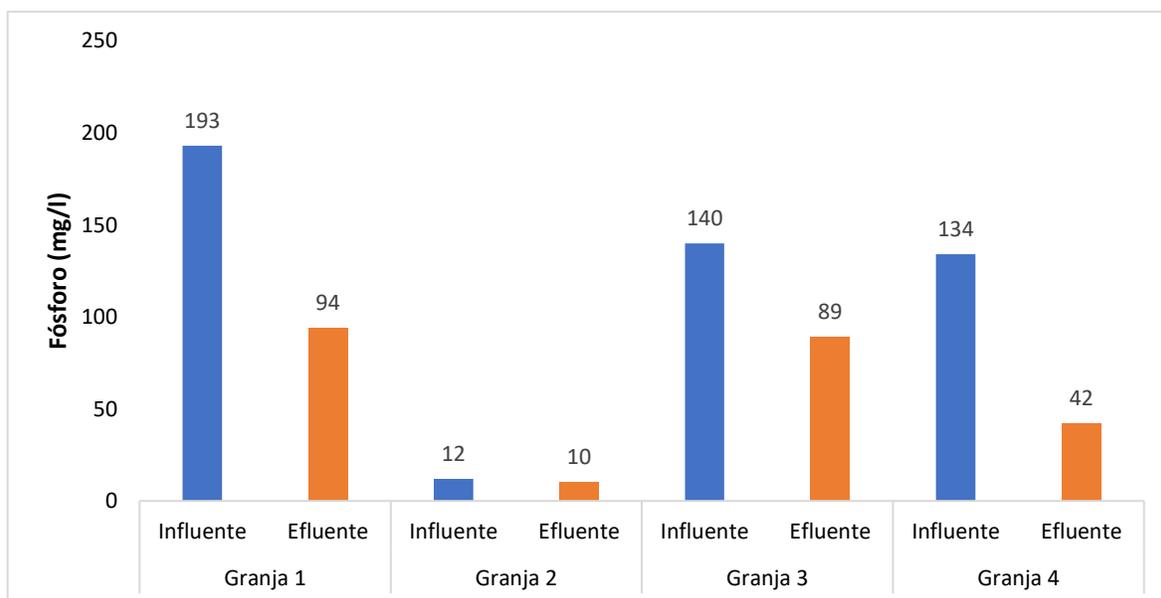
*Concentración de nitrógeno total de influente y efluente de las granjas estudiadas. *valor por encima del LMP de la NOM 001 SEMARNAT 2021*



Las aguas residuales porcícolas tienen concentraciones de fósforo que van desde los 32 hasta los 2765 mg/l, esta gran variabilidad está relacionado con varios factores como el tipo y la calidad del alimento animal, el sistema de limpieza utilizado, la etapa del crecimiento del animal, condiciones climáticas, etc. (Montalvo et al., 2020). En este estudio las concentraciones de fósforo en el influente y el efluente fueron desde los 12 hasta los 193 mg/l y desde los 10 hasta los 94 mg/l respectivamente (Figura 5). En cuanto a las eficiencias de remoción, la granja 4 fue la que presento una mayor eficiencia, seguido de la granja 1, después la granja 3 y por último la granja 2 con porcentajes de 68.6, 51.2, 36.4 y 16.6 % respectivamente. A pesar de que la granja 2 fue quien obtuvo una menor eficiencia de remoción, dada su baja carga inicial de fósforo es la única que cumple con los LMP por la NOM-001-SEMARNAT 2021.

Figura 5

*Concentración de Fósforo como fosfato de influente y efluente de las granjas estudiadas.
valor por encima del LMP de la NOM- 001- SEMARNAT 2021



La presencia de altas concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en cuerpos de agua desencadena un rápido proceso de eutrofización en lagos y embalses. Esto provoca una acelerada disminución del oxígeno disuelto disponible. Además, algunos compuestos de nitrógeno como el amoníaco y el nitrito resultan tóxicos para la vida acuática. En general, niveles elevados de estos contaminantes dificultan el aprovechamiento del recurso hídrico,

siendo especialmente problemático en sistemas de potabilización, donde su tratamiento encarece los costos y podría poner en riesgo la salud humana (Saldarriaga et al., 2010).

Estimación de recuperación de Agua, Nitrógeno y Fósforo. Utilizando como promedio los efluentes de las granjas porcícolas analizadas como alimentación dentro del simulador con una carga de 50 m³/día, del cual se recuperan 33.5 m³/día de agua tratada y en cumplimiento de la NOM -001 -SEMARNAT 2021. Además, por este proceso también se obtiene 10 toneladas al día de biofertilizante con las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT), fósforo y nitrógeno como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Concentración y rendimientos de COT, fosforo y nitrógeno en el biofertilizante obtenido

	Concentraciones	Rendimientos diarios
Carbono		
Carbono Orgánico Total	8542 mg/l	117 kg/día
Fósforos		
Fósforo Total	340 mg/l	5 kg/día
Nitrógeno		
NTK	1938 mg/l	27 kg/día
NH3	1938 mg/l	27 kg/día
NO3-NO2	0 mg/l	0 kg/día
Sólidos		
SST	16 997 mg/l	234 kg/día

La industrialización masiva de la producción ganadera, especialmente la porcina, ha generado una gran cantidad de residuos que contienen materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Estos residuos han causado problemas ambientales graves, como la eutrofización de las cuencas fluviales y la contaminación del agua potable. Dado lo anterior es necesario adoptar un enfoque basado en la recuperación de recursos para tratar adecuadamente estos residuos. Esto contribuiría a un equilibrio global de nutrientes, a la economía del tratamiento de aguas residuales y al desarrollo de tecnologías sostenibles, mitigando así los impactos ambientales y sanitarios (Montalvo et al., 2020).

Para que un abono sea completo, se requiere que aporte Nitrógeno en forma de NO_3^- o NH_4^+ ya que las plantas solo pueden absorber el nitrógeno si se encuentra presente de esa forma (FAO, 2002, p.18), por lo que el resultado obtenido es debido a la intensa amonificación que se produce en el sistema anaeróbico (Vieira y Silva, 2022).

Por otro lado, la concentración de fósforo en el biofertilizante es de 340 mg/l, mientras que Choi et al., (2007) reportan una recuperación de fósforos de 515 mg/l. Estas altas concentraciones promueven una rápida formación y mayor crecimiento de raíces y tallos en las plantas, haciendo que mejore su resistencia a enfermedades (Huayla, 2006). Estas concentraciones de Nitrógeno y Fósforo permiten ver el potencial de recuperación de nutrientes para la agricultura en el estado de Sonora.

Conclusiones

Las granjas porcícolas generan aguas residuales que no cumplen con la normativa ambiental NOM-001-SEMARNAT-2021. Estas aguas contaminan cuerpos de agua y suelos. Además, al no contar con sistemas adecuados de tratamiento, se desperdicia la oportunidad de recuperar el 67% del agua descargada y cerca de 149 kg diarios de nutrientes en forma de carbono orgánico total, nitrógeno y fosforo.

Referencias

- Bilotta, G.S., Brazier, R.E., 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Res.* 42 (3), 2849–2861
- Boursier, H., Béline, F., & Paul, E. (2005). Piggery wastewater characterisation for biological nitrogen removal process design. *Bioresource Technology*, 96(3), 351-358.
- Cervantes F. J., Saldívar-Cabrales J. y Yescas J. F. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*; <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v3-n1-1-estrategias-para-el-aprovechamiento-de-desechos.pdf>
- Choi, W. J., Chang, S. X., Kwak, J. H., Jung, J. W., Lim, S. S., Yoon, K. S., & Choi, S. M. (2007). Nitrogen transformations and ammonia volatilization losses from 15N-urea as affected by the co-application of composted pig manure. *Canadian journal of soil science*, 87(5), 485-493.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO] (2021). Hacer que cada gota de agua cuente. FAO.org. <https://www.fao.org/newsroom/detail/make-every-drop-of-water-count/es>
- Garzón-Zúñiga, M. A., & Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(1), 65-79.
- Guest, J. S., Skerlos, S. J., Barnard, J. L., Beck, M. B., Daigger, G. T., Hilger, H., ... & Love, N. G. (2009). *A new planning and design paradigm to achieve sustainable resource recovery from wastewater*.
- Huayla, R. (2006). *Manual de elaboración de abono foliar biol*. Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible (AEDES), 1(11), 1-14.
- Jamil, M., Qasim, M., & Umar, M. (2006). Utilization of sewage sludge as organic fertilizer in sustainable agriculture. *Journal of Applied Science*, 6(3), 531-535.
- McCutcheon, S. C., Martin, J. L., & Barnwell Jr, T. O. (1992). *Water quality*. Handbook of hydrology., 11-73.
- Mofokeng, D. S., Adeleke, R., & Aiyegoro, O. A. (2016). The analysis of physicochemical characteristics of pig farm seepage and its possible impact on the receiving natural environment. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10(8), 242-252.

- Montalvo, S., Huiliñir, C., Castillo, A., Pagés-Díaz, J., & Guerrero, L. (2020). Carbon, nitrogen and phosphorus recovery from liquid swine wastes: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(9), 2335-2347.
- Odjadjare, E. E., & Okoh, A. I. (2010). Physicochemical quality of an urban municipal wastewater effluent and its impact on the receiving environment. *Environmental monitoring and assessment*, 170(1), 383-394.
- Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2011). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 10. American public health association.
- Salcedo-Pérez, E., Vázquez-Alarcón, A., Krishnamurthy, L., Zamora-Natera, F., Hernández-Álvarez, E., & Rodríguez Macías, R. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Interciencia*, 32(2), 115-120.
- Saldarriaga, J. C., Garrido, J., Hoyos, D. A., & Correa, M. A. (2010). Remoción simultánea de carbono, nitrógeno y fósforo de aguas residuales en un sistema híbrido UCT modificado. *Dyna*, 77(162), 39-48.
- Sengupta, S., Nawaz, T., & Beaudry, J. (2015). Nitrogen and phosphorus recovery from wastewater. *Current Pollution Reports*, 1, 155-166.
- Siciliano, A., Limonti, C., Curcio, G. M., & Molinari, R. (2020). Advances in struvite precipitation technologies for nutrients removal and recovery from aqueous waste and wastewater. *Sustainability*, 12(18), 7538.
- Victorica-Almeida J.L., Galván-García M. y Ayala-Ruiz R. (2008). Sustainable Management of effluents from small piggery farms in Mexico. *American Journal of Environmental Sciences*
- Vieira, H. y Silva, M. (2022). Co-digestion of deep bedding and wastewater from pig farming: A new strategy for bioenergy increase and biofertilizer recovery *Journal of Environmental Management* 304. DOI:10.1016/j.jenvman.2021.114310
- Villamar, C. A., Cañuta, T., Belmonte, M., & Vidal, G. (2012). Characterization of swine wastewater by toxicity identification evaluation methodology (TIE). *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 363-369.
- Winpenny, J., Heinz, I., Koo-Oshima, S., Salgot, M., Collado, J., Hernandez, F., & Torricelli, R. (2013). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] <https://www.fao.org/4/i1629s/i1629s.pdf>

Capítulo 13

Daño por plomo en peces y riesgo a la salud en bahía de lobos, sonora

José de Jesús Balderas Cortés

Juan Francisco Maldonado Escalante

Iram Mondaca Fernández

Sara Roxana Maldonado Bustamante

Resumen

El presente estudio tiene la intención de evaluar el riesgo a la salud por la presencia de plomo en peces marinos comestibles en Bahía de Lobos, al sur del estado de Sonora para establecer el nivel de impacto que pudiese existir en las comunidades indígenas ribereñas habitantes del lugar. Se ubicarán 5 puntos de muestreo en la zona costera seleccionados aleatoriamente. Se cuantificaron las concentraciones de plomo mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica y se aplicaron diseños experimentales factoriales para las comparaciones entre los valores de Pb en vísceras, carne y hueso en tres especies de peces marinos; lisa (*Mugil cephalus*), pámpano (*Stromateus fiatola*) y constantino (*Centropomus pectinatus*). Finalmente, con los datos obtenidos se realizó una evaluación de riesgo utilizando el criterio de Evaluación de Riesgos USEPA mediante el Cociente de Riesgo (HQ). Todas las pruebas fueron validadas con una $p < 0.05$.

Palabras clave: Plomo, riesgo a la salud, metales pesados

Introducción

Las lagunas costeras del sur de Sonora se han convertido en el cuerpo receptor de las aguas residuales de diversas actividades ajenas a la pesca que se desarrollan en o alrededor de la misma. Algunas de las principalmente actividades comerciales son la minera, industria de transformación, turística, acuícola, agrícola y porcícola. En la actualidad los efectos acumulados de dichas actividades significan una agresión importante al modelo de circulación hidrodinámica de estos cuerpos de agua.

Las bahías son centros de protección biológica para especies endémicas y de paso sirven como sitios de reproducción y anidación de especies marinas comerciales. También funcionan como máquinas de filtrado, por lo que terminan acumulando todos los contaminantes humanos. Estos sitios son áreas de descarga final de los contaminantes y los organismos que se encuentran ahí están en un estrés constante por la introducción de

estos agentes tóxicos. No existen estudios previos o actuales de contaminación por metales pesados que conlleven a una adecuada política de manejo. Trabajos recientes en México solo se han enfocado en la contaminación de metales en sedimentos y escasamente en agua en los estuarios, aun así, la relación que existe entre estos y su bioacumulación por organismos marinos es más escasa todavía (Avelino, 2018; Belabed *et al.*, 2018).

Nuestro estudio de interés se centra en el sur de Sonora, México, contiguo al Golfo de California por ser la principal fuente de pesca del estado y de abastecimiento de los grupos étnicos de la región. Los escenarios presumen sugerir la posibilidad de ingestión, inhalación y contacto dérmico con metales pesados por parte de los ciudadanos y afectación sobre el medio natural urbano. Como los metales pesados son generalmente no biodegradables (acumulativos) y no se conocen sus mecanismos homeostáticos (equilibrio en un medio interno), es muy probable que elevadas concentraciones generen efectos negativos sobre la vida biológica (Vera *et al.*, 2016). En seres humanos existe acumulación en tejidos grasos y el sistema circulatorio, efectos adversos sobre el sistema nervioso central y el funcionamiento de los órganos internos, y actúan como cofactores en enfermedades como el cáncer (Zafra-Mexía *et al.*, 2020). Estudios recientes han reportado bajos niveles de CC16 en suero de niños expuestos a bajos niveles de metales en agua potable y suelo (Vega-Millán *et al.*, 2021; Beamer *et al.*, 2016). Los niños Yaquis, también mostraron incremento en el daño al ADN a moderados niveles tóxicos (Maldonado-Escalante *et al.*, 2018). Además, nuestros análisis indican que los pobladores de esas comunidades están en riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, incluyendo cáncer por la exposición constante.

La seguridad alimentaria se ha convertido en eje principal para la supervivencia del planeta, dada la aumentada expansión demográfica y la decreciente disponibilidad de recursos alimenticios. El consumo de organismos marinos juega un papel esencial, dado que puede reducir los índices de malnutrición por su contenido de aminoácidos esenciales, proteína de alta calidad, lípidos con ácidos grasos esenciales (EPA y DHA), vitaminas y minerales, sobre todo en aquellos lugares en donde las comunidades indígenas son extremadamente vulnerables. Adicionalmente reduce el riesgo de enfermedades coronarias, diabetes e hipertensión y contribuye al desarrollo y crecimiento fetal (Vargas y Marrugo, 2019).

En estos sitios donde los grupos indígenas hacen uso del recurso con fines alimenticios y para consumo regional se hace necesario encaminar estudios orientados a la valoración de los niveles y el grado de contaminación por plomo y sus efectos sobre la

salud en matrices ambientales y biológicas. Para validar el uso de biomarcadores, es indispensable continuar con estas investigaciones y replicarlas en pobladores de diversas comunidades en el Estado y en otras partes del país, de tal forma de poder diagnosticar de forma temprana los daños ocasionados por los metales pesados mediante la aplicación estas herramientas.

En una región agrícola de gran magnitud como lo es el Valle del Yaqui, en la que el perfil de mortalidad se ha incremento en los últimos años atribuido a enfermedades crónicas, la implementación de técnicas analíticas, el monitoreo de contaminantes y evaluación de riesgo a la salud que incluyan la caracterización de partículas tóxicas y sus fuentes de emisión representa un importante cambio en el conocimiento para desarrollar criterios de toma de decisiones y definir prioridades de atención en materia de salud pública y planeación urbana. Las evaluaciones de riesgo, son consideradas por diversos autores como herramientas de apoyo a la hora de evaluar daños a la salud humana, diversos estudios en el mundo dan fe de su importancia como los trabajos realizados por Yun-Jeong *et al.*, (2020). En grupos marginados indígenas, los niños de comunidades indígenas han mostrado un incremento en el daño al ADN comparados con grupos expuestos a baja exposición (Maldonado-Escalante *et al.*, 2018).

El peligro de los elementos potencialmente tóxicos depende de su concentración en el medio y de su combinación con compuestos orgánicos presentes en el suelo y su ingreso a los procesos productivos alimentarios, donde pueden ocurrir bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación. Otros factores como el pH, la concentración de microorganismos y la cantidad o tipo de aguas residuales también pueden afectar en menor grado la toxicidad (Farzan *et al.*, 2017). Análisis previos publicados por este cuerpo académico indican que los niños de comunidades vulnerables están en riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, incluyendo cáncer por la exposición a metales pesados vía agua potable.

El plomo (Pb) es el elemento pesado tóxico más importante del medio ambiente. Debido a sus importantes propiedades fisicoquímicas, su uso se remonta a tiempos históricos. En todo el mundo, es un metal de distribución abundante, importante y peligroso para el medio ambiente. Por su naturaleza no biodegradable y su uso continuo, su concentración se acumula en el medio ambiente aumentando su peligrosidad (Ara y Usmani, 2015). Los peces se consideran los biomonitores más importantes de los sistemas acuáticos para estimar el nivel de contaminación por metales, ya que ofrecen varias ventajas específicas para describir las características naturales de los sistemas acuáticos

y evaluar los cambios en los hábitats. Además, los peces se encuentran al final de la cadena alimentaria acuática y pueden acumular metales y transmitirlos a los seres humanos a través de los alimentos, causando enfermedades crónicas o agudas (Authman *et al.*, 2015).

Dado lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de plomo en peces comestibles en las comunidades indígenas de la región pesquera de Bahía de Lobos mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica evaluando los posibles efectos a la salud humana.

Método

Bahía de Lobos se localiza en el Municipio de San Ignacio Rio Muerto del Estado de Sonora, México. Sus coordenadas geográficas son Longitud: 27° 21' 06", Latitud: 110° 27' 17" (Figura 1).

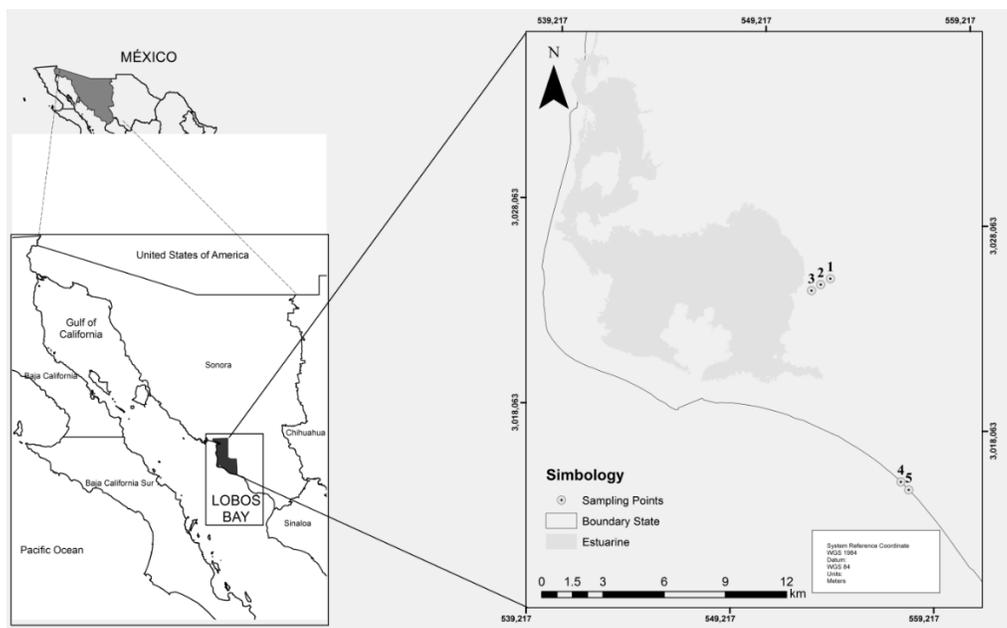
Se seleccionaron muestras de peces (n=5 por especie) de lisa (*Mugil cephalus*), pámpano (*Stromateus fiatola*) y constantino (*Centropomus pectinatus*) provenientes de Bahía de Lobos, las cuales presentan importancia comercial.

Los organismos se recolectaron en bolsas de polietileno de 1 galón y se transportaron en hieleras a 4°C al laboratorio de Toxicología del Centro de Investigación e Innovación en Biotecnología Agropecuaria y Ambiental (CIIBAA) del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) donde fueron almacenados según lo indica la NOM-242-SSA1-2009 hasta su posterior análisis.

Ya en el laboratorio los peces fueron cortados y separados en 3 partes; musculo, vísceras y hueso para la determinación de Pb. Los cortes fueron pesados y procesados por digestión ácida utilizando ácido nítrico (grado reactivo) en una plancha de calentamiento a 80°C hasta su completa digestión, para proceder a leerse por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Balderas *et. al*, 2023).

Figura 1

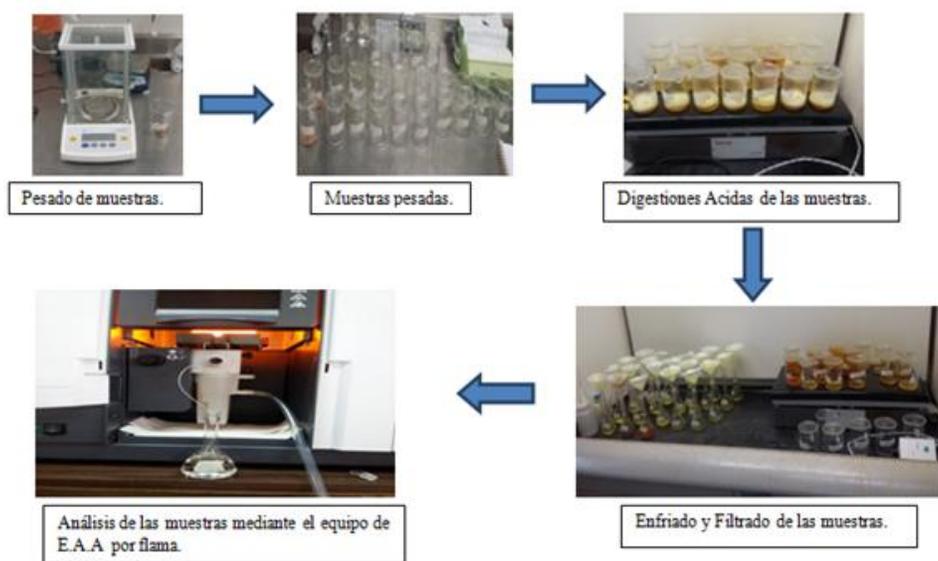
Localización geográfica de la Bahía de Lobos, San Ignacio Río Muerto. Son



Determinación de metales pesados en matrices biológicas. Para el análisis de muestras biológicas se tomaron 20 g de tejido, se agregaron en un vaso de precipitado de 250 mL y se les adicionó 20 mL de HNO₃ al 70 %. Los vasos fueron cubiertos con un vidrio de reloj y se calentaron en una parrilla eléctrica sin dejar llegar a ebullición. Se separó el resultante de aproximadamente 5 mL con un filtro Whatman No. 42 utilizando un embudo de vidrio. El filtrante fue colectado y aforado en un matraz volumétrico de 100 mL. La presencia de metales fue determinada por EAA (Espectrofotometría de Absorción Atómica). y por EAA-HG (Espectrofotometría de Absorción Atómica acoplado a Generador de Hidruros).

Figura 2

Procesamiento y lectura de plomo en muestras de tejido de peces comestibles procedentes de Bahía de Lobos, Son



El factor de Bioacumulación (FBC), considera que la concentración de Plomo en los organismos es directamente proporcional a la concentración en el sedimento.

$$FBC = C_{\text{Biota}} / C_{\text{Sedimento}}$$

Donde la C_{Biota} es la concentración total del metal en la biota (mg/kg) y $C_{\text{Sedimento}}$ es la concentración total del metal en el sedimento (mg/kg). Este modelo ha sido ampliamente utilizado en diversos trabajos de monitoreo ambiental para dar a conocer como la contaminación de estos elementos impacta directamente a la biota. Se produce acumulación cuando el FBC es mayor que 1 (US EPA Department of Interior, 1998).

El riesgo a la salud humana por consumo de peces contaminados con plomo fue calculado mediante el Cociente de Riesgo (HQ por sus siglas en inglés) (NOM-242-SSA1-2009).

$$HQ = E / RfD$$

Donde: E es la dosis de exposición al elemento; RfD es la dosis de referencia establecida por la USEPA (2009) del elemento (Pb: 4×10^{-3} mg/kg-día). La dosis de exposición por metal es estimada de la siguiente manera:

$$E = CI / W$$

Donde C es la concentración del elemento en la matriz (Pez), I es la tasa de ingesta del alimento para peces 32.87 g/día y W, es el peso de la población de estudio, que fue de 34.9 kg para la comunidad Yaqui de Potam y tomada como referencia para los niños de la comunidad Yaqui de Bahía de Lobos, Sonora (Maldonado *et al.*, 2018). Cuando el cociente sobrepasa 1, significa que las personas que están consumiendo estos alimentos tienen riesgo a presentar enfermedades y padecimientos relacionadas con el elemento de estudio.

Tratamiento estadístico. Se realizaron diseños experimentales factoriales y pruebas de rangos múltiples (LSD) para las comparaciones entre las diferentes variables medidas. Con los datos cuantificados se procedió a realizar una evaluación de riesgo utilizando el criterio de Evaluación de Riesgos USEPA para Superfund (RAGS) Parte A.

Resultado

Las concentraciones de plomo variaron desde 0 hasta 4.79 mg kg⁻¹ en todas las muestras analizadas (Tabla 1). Se encontró que las cantidades de Pb en hueso mostraron una diferencia estadísticamente significativa en todas las especies a diferencia de las encontradas en vísceras y la carne. Se destaca la concentración en lisa con una media de 4.79 mg kg⁻¹.

Tabla 1

Concentración de Pb (mg/kg) en peces y sus tejidos expresados como media ± desviación estándar, n= 5 para cada especie

Media Pb		Media Pb		Media Pb	
Lisa	1.83 ± 1.2 ab	Pampano	0.65 ± 0.55 a	Constantino	0.67 ± 0.64
<i>Viscera</i>	1.57 ± 0.56 ab	<i>Viscera</i>	0	<i>Viscera</i>	0.01 ± 0.01 a
<i>Carne</i>	0.07 ± 0.06 a	<i>Carne</i>	0.23 ± 0.21 a	<i>Carne</i>	0.02 ± 0.01 a
<i>Hueso</i>	4.79 ± 3.30 c	<i>Hueso</i>	2.26 ± 2.03 b	<i>Hueso</i>	2.19 ± 1.96 b
LMP*	0.5 mg/kg				

Las medias entre especies con la misma letra en la columna (abc) no son significativamente diferentes según la prueba de LSD de Fisher ($p > 0.05$). * Límite Máximo Permisible de Pb de acuerdo a la NOM-242-SSA1-2009.

En la Figura 3, se muestra la concentración de plomo en cada una de las especies analizadas. Mediante las comparaciones con análisis factoriales a través de pruebas de rangos múltiples se puede apreciar que en el caso de *Mugil cephalus* se encuentran los valores más elevados en comparación con las otras dos especies *Stromateus fiatola* y

Centropomus pectinatus. De igual manera en la Figura 4 se visualiza como la acumulación del metal se concentra en la estructura ósea del pez, no habiendo diferencia significativa entre vísceras y carne.

Figura 3

Gráfica de medias de la prueba de rangos múltiples (LSD $p < 0.05$) para la concentración de Plomo (mg/kg) en cada una de las especies bajo estudio

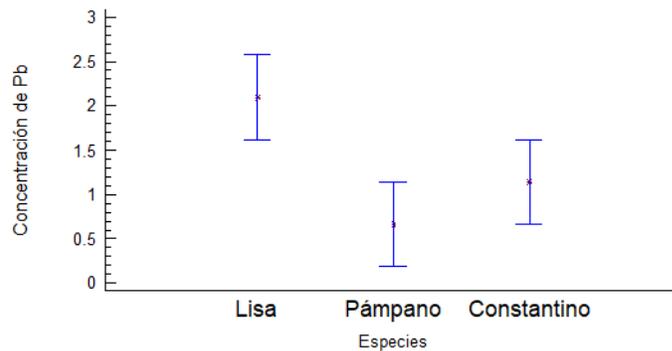
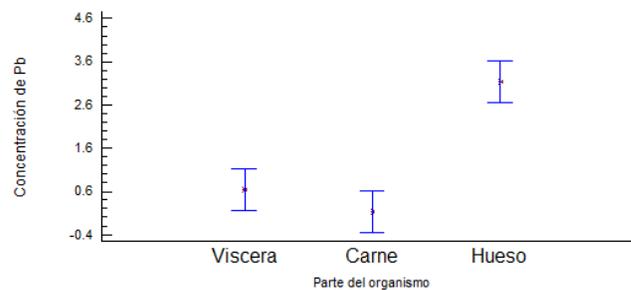


Figura 4

Gráfica de medias de la prueba de rangos múltiples (LSD $p < 0.05$) para la concentración de Plomo (mg/kg) en cada una de las matrices estudiadas del pez



Discusión

El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar a una importante contaminación del ambiente costero y a la exposición humana ocasionando graves problemas de salud pública en muchas partes del

mundo. Los efectos tóxicos del plomo pueden tener consecuencias graves y permanentes en la salud y afectar en particular al desarrollo del cerebro y del sistema nervioso. El plomo también causa daños duraderos aumentando el riesgo de hipertensión arterial, afecciones cardiovasculares y lesiones renales. Se considera un metal no esencial y de alta toxicidad que se encuentra en distintos ambientes debido a su presencia en aguas residuales o su uso en actividades portuarias o en procesos de fundición (Piñón-Gimate *et al.*, 2020).

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por varios investigadores en diferentes especies de peces, quienes determinaron que el hueso es la mayor reserva de plomo, seguido por el intestino, hígado y músculo. En términos generales, los tejidos mayormente analizados corresponden a músculo y/o tejido comestible (en algunos casos, organismo completo, principalmente en moluscos bivalvos), esto en relación con su importancia para establecer los daños por consumo humano (Osuna *et al.*, 2023). El plomo es un elemento químicamente similar al Calcio, motivo por el que es confundido por el organismo y fijado en los huesos de los vertebrados, Las concentraciones de plomo y otros metales pesados varían comúnmente en los peces, se ha observado que en organismos carnívoros suelen tener mayor presencia estos metales en huesos, órganos y tejidos tal como el caso del pez lisa en este estudio.

Con respecto a la normativa mexicana se encontró que el tejido comestible está dentro de los límites máximos permisibles de la NOM-242-SSA1-2009 para consumo humano.

Estudios similares reportan en varias partes del mundo los límites máximos de Pb en peces, siendo los siguientes: el Decreto 977 del Ministerio de Salud (Chile) (2,0 mg/kg), la Norma Oficial Mexicana (0,5 mg/kg), el Reglamento (CE) n°1881/2006 (Unión Europea) (0,3 mg/kg), Australia New Zealand Food Standar Code (0,5 mg/kg), y CODEX (0,3 mg/kg). En especies chilenas *P. chilensis* y *A. punctatus* superaron más de una de las normas. Así mismo. *C. variegatus* no mostró niveles de importancia mayores, mientras que *Pinguipes chilensis* y *Aplodatylys punctatus* estuvieron por arriba de límite máximo establecido por el Decreto 977 siendo mayores a lo establecido por las otras normas (Curaz *et.al*, 2023).

Estudios publicados por Frías *et.al.*, (2023) indican que las concentraciones de plomo en los tejidos blandos de bivalvos parecen indicar una tendencia a la disminución, posiblemente relacionado con el uso de gasolina sin plomo, aunque esto no coincide con los valores encontrados en el tejido comestible de camarones y peces. Además, todos los valores de plomo son superiores a los valores de la NOM que indican la presencia de impactos ambientales. Así mismo, estudios en el Estado de Sinaloa, México relacionan la

presencia de metales pesados debido a la agricultura, por lo cual fertilizantes y plaguicidas son fuentes importantes de contaminación por estos elementos.

Bertolotti *et al* (2018) en Perú registró la presencia de Pb en la musculatura de peces marinos estando estas por encima del límite máximo permisible por la EC, con lo que se infiere la contaminación por este metal en los ambientes en los que habitan estos organismos. Estudios similares realizados por Gale *et al.*, (2002) en Estados Unidos, encontraron concentraciones elevadas de Pb en sedimentos de río y peces, debido a la erosión del suelo a causa del escurrimiento de los depósitos en la superficie y presencia de relaves en las actividades mineras.

Owolabi y Awodele, (2019) en el proyecto “Heavy metal bioaccumulation in the kidneys of scaly and non scaly fishes from Epe Lagoon, Nigeria”, Evaluaron los niveles de concentración de hierro y plomo en riñones en peces escamosos y no escamosos, con una muestra de 141 peces escamosos y 134 no escamosos. En sus resultados obtuvieron hierro 2.92 mg/kg; plomo 0.18 mg/kg; comparándolo con el límite de 0.01 mg/kg establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Vega, *et al.* (2020). al comparar las concentraciones de plomo en peces con las normativas de SANIPES, OMS y la Unión Europea llegan a la conclusión de que la especie Carachama (*Hypostomus oculeus*) fue la que sobrepasó la concentración de plomo con un valor de 2.18 (mg/kg) con relación a los niveles máximos permitidos de 0.3 (mg/kg) establecido por el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES), la Unión Europea (U. E) y 0.2 (mg/kg) valor establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Con lo que respecta al Coeficiente de Riesgo (HQ), este presenta su mayor valor de 0.02 en lisa (*Mugil cephalus*), mientras que para pámpano (*Stromateus fiatola*) y constantino (*Centropomus pectinatus*) sus valores se encuentran en límites bajos no detectados. Las tres especies en estudio no representan riesgo a la salud por consumo en los grupos indígenas comensales de Bahía de Lobos, Sonora. Sin embargo, la presencia de cantidades de plomo en la estructura ósea de estos peces es un indicador de la bioacumulación de este metal, razón por la cual se debe poner especial atención ante la eventual presencia de enfermedades y síntomas característicos de este elemento químico.

Conclusiones

La presencia de plomo en peces en los ecosistemas costeros constituye un serio problema debido a su elevada persistencia medioambiental y su alta toxicidad para los organismos vivos y el ser humano (Guénin y López, 2017). Este elemento químico tiene la propiedad

de ser bioacumulable, pues al organismo afectado le resulta imposible mantener la velocidad necesaria de excreción (Mendoza, *et al.*, 2018).

En este estudio, las especies de importancia comercial; lisa (*Mugil cephalus*), pámpano (*Stromateus fiatola*) y constantino (*Centropomus pectinatus*) provenientes de Bahía de Lobos, no presentan concentraciones de plomo que se encuentren por encima de los límites permisibles de la norma oficial mexicana para consumo humano. Las cantidades de Pb en hueso mostraron una diferencia estadísticamente significativa en todas las especies a diferencia de las encontradas en vísceras y la carne, obteniéndose una concentración máxima promedio de 4.79 mg kg⁻¹. Estudios recientes presumen que al ser el plomo un elemento químicamente similar al calcio, este es confundido por el organismo y fijado en los huesos de los vertebrados.

Ninguno de los valores de HQ (Cociente de Peligro) estimados en este estudio se encuentran en límites por encima de 1.0, por lo que el consumo alimenticio de las tres especies no representa riesgo a la salud para los grupos indígenas comensales de Bahía de Lobos, Sonora. Sin embargo, al ser un metal bioacumulable pudiera convertirse en un futuro en un problema de salud pública. Se hace necesario continuar con este tipo de estudios para establecer un monitoreo continuo ante la presencia de indicadores de riesgo a la población. Se contará así con más información cuantitativa para la toma de decisiones en el ámbito de salud pública y del ambiente.

Referencias

- Ara, A., Usmani, J. (2015). Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary toxicology*, 8(2), 55.
- Authman, M., Zaki, M. S., Khallaf, E., Abbas, H. (2015). Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 6(4), 1-13.
- Avelino, C. (2018). *Eficacia de la fitoextracción para la remediación de suelos contaminados en Villa de Pasco*. Maestría en Investigación científica y tecnológica.
- Balderas, J., Mondaca, I., Meza, M., Aguilar, A., (2023). *Concentración de cadmio y factor de riesgo en moluscos comestibles en el estero de Tóbari, Sonora*. Explorando escenarios hacia un futuro sostenible en Biotecnología y Alimentos. Instituto Tecnológico de Sonora. Pp.133-134.
- Beamer, P., Klimecki, W., Loh, M., Van-Horne, Y., Sugeng, A., Lothrop, N., Martinez, F. (2016). Association of Children's Urinary CC16 Levels with Arsenic Concentrations in Multiple Environmental Media. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(5), 521.
- Bertolotti, F., Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash – Perú. *Salud tecnol. vet.* 2018;1: 35-41.
- Curaz, S., Moenne, F., Blanco, F., Díaz, M., Sola, I., Martorell, S., Contreras, O., Silva, N., Pérez, M., Carmona, P., Ruiz, J., Olivares, M., Lobos, M., Rodríguez, F., Lavergne, G., Molina, V., Sáez, C. (2023). *Análisis de metales en recursos pesqueros de la bahía quintero-puchuncaví*. Centro de investigación HUB AMBIENTAL UPLA Universidad Playa Ancha. Chile.115 P.
- Frías-Espericueta, M., Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro, M. Aguilar-Juárez, Voltolina, D. (2023). Cadmio y Plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Océánides*, 25(2): 121-134.
- Maldonado-Escalante J., Meza-Figueroa, D., Dévora-Figueroa, A., García-Rico, L., Burgess, L., Lantz, C., Yañez-Estrada, L., Martínez-Cinco, M., Balderas-Cortés, J., Mondaca-Fernández, I., Meza-Montenegro, M. (2018). An integrated health risk assessment of indigenous children exposed to arsenic in Sonora, Mexico. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*.

- Norma Oficial Mexicana NOM-242-SSA1-2009, *Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.*, pp. 1-128.
- Osuna-Martínez, C., Bergés-Tiznado, M., Páez-Osuna, F. (2023). *Investigaciones marinas y costeras del pacífico mexicano*. Universidad de Colima. Pp. 227-239.
- Owolabi, D., Awodele, O. (2019). *Heavy metal bioaccumulation in the kidneys of scaly and non scaly fishes from Epe Lagoon* [Tesis de Fin de Grado. Universidad of Nigeria]. Repositorio Institucional.
- Piñón-Gimate, A., Jakes-Cota, U., Tripp-Valdez, A. Casas-Valdez, M., Almendarez-Hernández, L. (2020). *Assessment of human health risk: Copper and lead concentrations in Stone Scorpionfish (Scorpaena mystes) from the coastal region of Santa Rosalía in the Gulf of California, Mexico*. Regional Studies in Marine Science, 101003. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.101003>
- U.S. EPA. Wildlife Exposure Factors Handbook (Final, 1993). U.S. *Environmental Protection Agency*, Washington, D.C., EPA/600/R-93/187, 1993.
- Vargas, S., Marrugo, J. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta biol. Colomb.*, 24(2):232-242.
- Vega, A. (2020). *Estudio de la concentración de mercurio, plomo, cadmio y arsénico en peces y su comparación con las normativas SANIPES, OMS y la Unión Europea*. Tesis para optar el título profesional de: INGENIERA AMBIENTAL. Facultad de Ingeniería. Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú. 83 p.
- Vega-Millán, C, Dévora-Figueroa, A., Burgess, J., Beamer, P., Furlong M, Lantz, R., Meza-Figueroa, D., Rourke, M., García-Rico L, Meza-Escalante, E., Balderas-Cortés, J., Meza-Montenegro, M. (2021). Inflammation biomarkers associated with arsenic exposure by drinking water and respiratory outcomes in indigenous children from three Yaqui villages in southern Sonora, México. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021 Mar 1:1–12. doi: 10.1007/s11356-021-13070-x.
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores M., Vázquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales minerales utilizando el bagazo de caña como biosorbente Afinidad. *Revista de Ingeniería Química Teórica y Aplicada*, 73(573).
- Zafra-Mejía, J., Beltrán-Vargas, J. (2020). Contaminación y salud pública en hábitats urbanos: metales pesados en sedimentos viales de Bogotá, Colombia. *Revista EIA*, 17(33) Año XVII, 1-15

Capítulo 14

Capacidad antioxidante *in vitro* de hidrolizado de subproductos de pollo glicadas vía reacción de Maillard

Blanca Areli Mondaca Navarro

Roberto Rodríguez Ramírez

Alma Guadalupe Villa Lerma

Maritza Arellano Gil

Resumen

Una de las industrias alimentarias con mayor crecimiento nivel Internacional es la industria avícola, donde México es considerado como el tercer productor avícola en el mundo. Esta industria genera una gran cantidad de subproductos y podrían ser recuperados para elaborar productos de valor agregado. Se han propuesto técnicas para su recuperación como la degradación por la acción de enzimas proteolíticas, procesos físicos y químicos. De manera general estos procesos son considerados costosos y complejos. La glicación proteínas-carbohidrato mediante la reacción de Maillard (RM), han mejoran las propiedades bioactivas como la capacidad antihipertensiva, antioxidante, anti-inflamatoria, entre otras. Sin embargo, aún no se conoce el impacto que podría tener la glicación vía RM de las proteínas de los desechos de pollo en sus propiedades bioactivas. El objetivo del trabajo fue evaluar la capacidad antioxidante *in vitro* en hidrolizados de proteínas de subproductos (viseras) de pollo. Para la formación de los glicoconjugados se hizo reaccionar proteínas de vísceras de pollo con glucosa, dextrano y maltodextrina en concentración (1:2) a 90°C por 12 h. El progreso de la RM se determinó por el análisis etapas intermedias y avanzadas, así como del porcentaje de glicación utilizando el método OPA por métodos espectrofotométricos. El potencial antioxidante expresados como TEAC (μM equivalentes de Trolox). Los glicoconjugados formados con glucosa mostraron capacidad antioxidante con valores entre 416-2056 de TEAC, sugiriendo que dichos hidrolizados podrían ser utilizados como ingrediente en la formulación de alimentos funcionales o nutraceuticos.

Palabras clave: TEAC, alimentos funcionales, alimentos nutraceuticos, proteínas

Introducción

El consumo de la carne de pollo se ha popularizado en la dieta del mexicano debido a su sabor, facilidad de cocción y su versatilidad de preparación. Además, es útil para reemplazar otras carnes de mayor costo en la gastronomía de México, incluso ha obtenido el reconocimiento que el consumo de carne de ave es más saludable en comparación de

otras carnes (Téllez *et al.*, 2016). Por ello se ha convertido en la carne de mayor producción y consumo en el país. La industria avícola nacional satisface el 81% de la demanda interna y de igual manera se cubre con una demanda internacional donde se exportan productos elaborados de carne de pollo, mayormente a los países como USA (95%), Chile (3%) y Brasil (2%), encontrándose México en el tercer lugar como productor de carne de pollo en el mundo con 830 mil toneladas anuales reportadas en el 2020 (Estévez-Moreno y La Lama., 2022).

Como consecuencia del rápido incremento de la industria avícola en la producción de carne de pollo, existe una generación masiva de subproductos de origen orgánico no recuperables y que estos no serán utilizados durante los procesos de producción convencionales como: vísceras, plumas, sangre, cabezas, grasa abdominal, patas y huesos. Alrededor del 30% de la producción de pollo a nivel mundial de la industria avícola se compone de las vísceras (Anuar *et al.*, 2017). En México, estos subproductos suelen ser desechados o enterrados por los productores, lo que genera contaminación ambiental. Esta situación se agrava debido a las dificultades que enfrentan los productores, procesadores y mercados locales para gestionar estos subproductos (Kpogue *et al.*, 2019). Además, pocos de estos subproductos se utilizan para la generación de productos de consumo humano; la mayoría se destina a la elaboración de piensos para animales, biofertilizantes y biocombustibles (Peña-Saldarriaga *et al.*, 2020).

Se ha encontrado un gran interés en subproductos como las vísceras ya que representan una fuente de proteínas (90%) de bajo costo y con buen equilibrio de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales como el hierro, zinc, fósforo, magnesio, vitamina A y B12 (Djissou *et al.*, 2018; Geniselli da Silva y Soares de Castro, 2020; Ibarz-Blanch *et al.*, 2023). Aunque la composición de las vísceras varía según el órgano específico (corazón, hígado o mollejas), regularmente se mezclan para lograr una constitución homogénea. No obstante, esta mezcla varía según la raza del ave, dieta y métodos de producción utilizados en diferentes partes del mundo (Pratyush *et al.*, 2014; Hedji *et al.*, 2014). Además, el uso de subproductos de origen animal está influenciado por factores como la cultura, religión y preferencias personales; lo que se considera no comestible en un país puede ser muy valorado en otro.

Se han llevado numerosos estudios para identificar y extraer diversas biomoléculas presentes en las vísceras de pollo por hidrólisis para utilizarlas en la microbiología, farmacéutica y nutrición (Yeh *et al.*, 2022; Ibarz-Blanch *et al.*, 2023; Qi *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024), es posible recuperar y extraer valor de lo que hasta ahora se consideraba un

subproducto, transformándolo en productos de alto valor añadido. Con el fin de desarrollar productos desde el punto de vista nutricional y emplearse como ingrediente/aditivo alimentario para consumo animal o humano. Especialmente en el ámbito de la nutrición humana, alimentación funcional y nutracéutica (Wu *et al.*, 2020).

En los últimos años, el creciente interés en hábitos saludables ha impulsado una mayor demanda y conciencia entre los consumidores sobre la importancia de los nuevos alimentos que combinen valor nutritivo con propiedades organolépticas atractivas y valor añadido. Estos alimentos se buscan no solo por su sabor, sino también por su capacidad para mejorar la salud y prevenir enfermedades crónicas como el cáncer, diabetes y enfermedades cardiovasculares. Estas enfermedades, relacionadas en gran medida con la alimentación, representan una importante fuente de mortalidad global y un desafío económico para los sistemas de salud (Ojo *at al.*, 2019)

La glicación es una alteración química de las proteínas como la reacción de Maillard (RM) que ocurre sin la intervención de compuestos externos y causan una, mejora sensorial de los alimentos. La RM implica la interacción de aminoácidos con azúcares reductores, produciendo productos glicosados, interactuando diferentes factores como pH, temperatura, humedad y tiempo, los cuales afectan la formación de estos productos. La glicación puede mejorar las propiedades funcionales de las proteínas, alterando su estabilidad termodinámica y este se considera el método más adecuado de modificación química de las proteínas, ya que no implica la interacción de productos químicos que pudiera resultar tóxicos para el consumo humano (de Oliveira *at al.*, 2016; Kaur *et al.*, 2024). El objetivo del trabajo fue evaluar la capacidad antioxidante *in vitro* en hidrolizados de proteínas de subproductos (viseras) de pollo.

Metodología

El presente trabajo de investigación fue desarrollado dentro del Laboratorio de Biotecnología y Trazabilidad Molecular de los Alimentos del Instituto Tecnológico de Sonora.

Hidrolisis de vísceras de pollo

Se siguió la metodología propuesta por Jamdar *et al.*, (2012) con modificaciones. Se realizó una mezcla de vísceras (50% menudencias y 50% mollejas) de pollo (*Gallus gallus*) obtenidas en una cadena de supermercados local. De esta mezcla se obtuvo un homogeneizado al 40% (p/v) de tejido y agua, ajustándose el pH a 3 ± 0.2 con HCl 1 N y después agitar a 55 ± 3 °C por 3 horas. Posteriormente, las muestras se centrifugaron

20,000 g por 15 min. El sobrenadante fue neutralizado con NaOH 4 M y almacenado a 4°C para su posterior análisis.

Cuantificación de proteínas de vísceras de pollo

La concentración de proteína del extracto proteico de vísceras de pollo se evaluó por el método de Bradford (1976) utilizando como estándar una curva de albúmina de suero bovino (1 mg/mL; $R^2 \geq 0.99$). y una solución de trabajo de Bradford (33 % de 96 % etanol; 67 % de 85 % ácido ortofosfórico y 0.12 % m/v azul de Coomassie G-250). El producto se analizó en un espectrofotómetro (UV/VIS Multiskan GO, Thermo Scientific) a una longitud de onda de 595 nm.

Glicación de proteínas de vísceras de pollo vía reacción de Maillard

Para realizar la glicación de las proteínas obtenidas se siguió la metodología de Mondaca-Navarro *et al.* (2017) con algunas modificaciones. Primeramente, al hidrolizado proteico de vísceras de pollo (H) se le adicionó Glucosa (GLU), Dextrano (DEX) y Maltrodextrina (MDEX) respectivamente, en relación proteína: carbohidrato 1:2 (m:m), dejando en agitación durante toda la noche a 4 °C. Una vez homogeneizada la mezcla, se pasó a viales de vidrios a un volumen de 10 ml, donde se llevó a cabo la glicación mediante calentamiento en un horno de precisión a 90 ± 5 °C por 12 horas, debilitando la reacción en un baño de agua con hielo. Los glicoconjugados formados se almacenaron a -20°C para su posterior análisis.

Evaluación de las etapas finales de la reacción de Maillard

Los compuestos poliméricos pardos, característicos de las etapas finales de la RM, fueron medidos por espectrofotometría a una absorbancia de 294 nm y 420 nm, usando un espectrofotómetro UV/VIS Multiskan GO, Thermo Scientific (Corzo-Martínez *et al.*, 2008).

Determinación de grado de Glicación (OPA)

Se utilizó la metodología de Church *et al.*, (1983) con algunas modificaciones. Se mezclaron 25 μ L de los glicoconjugados con 0.5 mL de reactivo OPA (20 mg de o-ftaldialdehído disuelto en 0.5 mL de metanol, 12.5 mL de buffer de borato de sodio 0.1 M pH 9.85, 1.25 mL de SDS al 20 %) en volumen final de 25 mL. Posteriormente se mezclaron a temperatura ambiente y reposaron por 2 min. Su absorbancia fue leída a 340 nm por espectrofotometría, utilizando una placa tipo ELISA NUNC F-bottom 96.

Para medir el porcentaje de glicación de los glicoconjugados se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Glicación} = (A_o - A_m) / A_o \times 100$$

Donde A_o es la absorbancia del blanco (extracto proteico calentado a 6 h).

A_m es la absorbancia de la muestra.

Ensayo de capacidad antioxidante expresada como equivalente de Trolox (TEAC)

El ensayo del TEAC, fue aplicado para la inhibición de los radicales ABTS 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diamonium salt (ABTS) y 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). El ensayo del ABTS se realizó de acuerdo con el método de Mondaca-Navarro *et al.* (2017) con algunas modificaciones. La formación del radical consistió en el compuesto ABTS y 2.45 ml de persulfato de potasio 10 mMol/L, para obtener una concentración final de 7 mMol/L del radical ABTS. Posteriormente se incubó de 14-16 h en oscuridad a temperatura ambiente. La solución de ABTS se ajustó con agua a una absorbancia de 0.70 ± 0.02 nm y fue monitoreada por 6 min. Para el caso de las muestras se tomaron 10 μ L; se mezcló con 100 μ L del reactivo ABTS y se dejó incubar 5 min en oscuridad. Una vez incubadas las muestras se transfirieron a una microplaca Nunc™ MicroWell™ (thermo Fischer Scientific, USA) donde las mediciones por espectrofotometría se realizaron a una longitud de onda de 734 nm en un lector de microplacas UV/VIS Multiskan™ GO (Thermo Scientific, USA). El blanco fue preparado de la misma forma con la sustitución de los PRM por agua.

Para la formación y captación de radicales DPPH de los glicoconjugados, se tomaron alícuotas de 200 μ L de DPPH disuelto en metanol a la concentración 0.2 mM y se mezcló con 50 μ L de cada sistema modelo. Se mantuvo a temperatura ambiente durante 30 min bajo protección de la luz. Como *blanco* se reemplazó los glicoconjugados por agua y posteriormente se depositaron en una microplaca Nunc™ MicroWell™ y se analizó a una absorbancia de 520 nm utilizando el espectrofotómetro mencionado.

Para ambos métodos se realizaron curvas de calibración en concentraciones de 150 μ M, 75 μ M, 37.5 μ M, 18.75 μ M y 9.375 μ M de Trolox (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametil-croman-2 carboxílico), donde las muestras fueron interpoladas para calcular la concentración de equivalente de Trolox expresadas en μ M/ mL.

Análisis estadístico

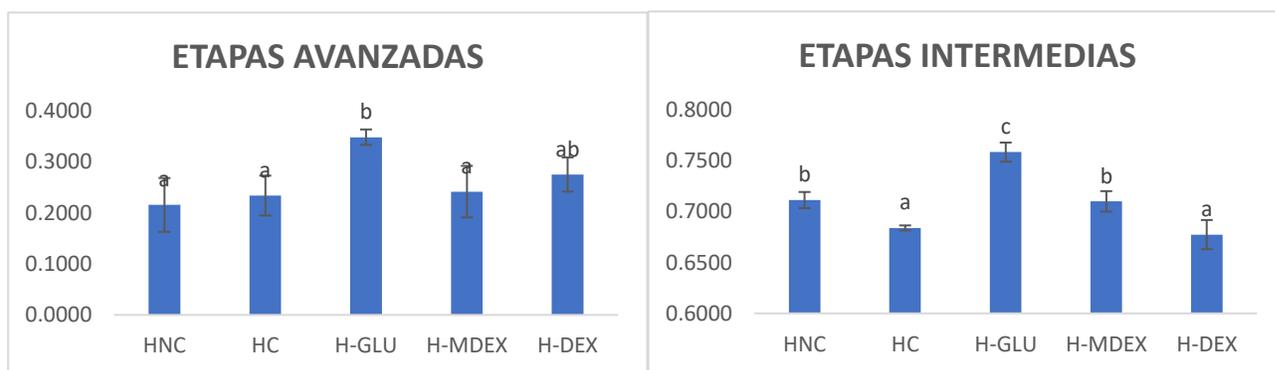
Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Los datos se sometieron a un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) bajo la estructura de un diseño 3^3 utilizando el paquete Statgraphics CENTURION. Se utilizó la prueba de Duncan para las comparaciones de medias.

Resultados

La medición de la absorbancia (λ 294nm) y la intensidad del pardeamiento (λ 420nm) de los glicoconjugados formados a partir de hidrolizados proteicos de vísceras de pollo glicados con Glucosa (H-GLU), Maltodextrina (H-MDEX) y Dextrano (H-DEX) respectivamente, se muestran en la Figura 1. Se observa que a 294 nm y 420 nm los glicoconjugados del tratamiento térmico (90°C) presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cuanto a la absorción de energía por los diferentes compuestos formados en las diferentes etapas de la reacción, presentado valores de absorbancia entre 0.65-0.75 (294nm) en etapas intermedio avanzadas. Para la intensidad de pardeamiento o etapas avanzadas fue entre el rango de 0.21-0.34 (420 nm) y siendo H-GLU el que obtuvo mayor absorbancia ($p < 0.05$) en (etapas intermedias y avanzadas).

Figura 1

Medida de Absorbancia en la etapa intermedia y medida de pardeamiento en etapa avanzada

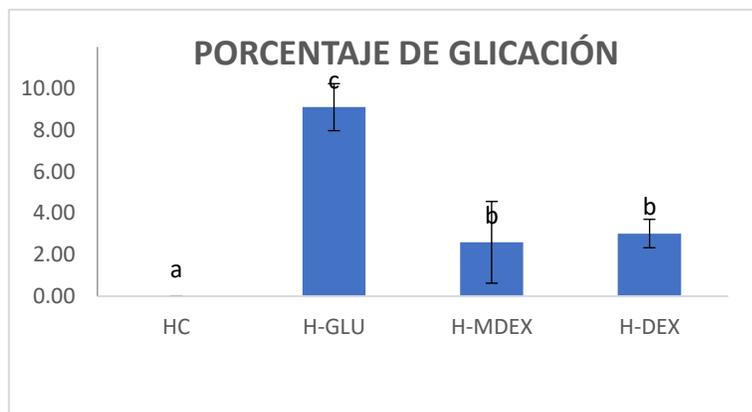


Nota: Etapa intermedia medidas por la intensidad de Absorbancia a 294 nm y etapas avanzadas medido por la intensidad de pardeamiento a una absorbancia de 420 nm de hidrolizados proteicos de pollo glicadas vía reacción de Maillard.

En la Figura 2 se observan los diferentes porcentajes de glicación de los hidrolizados proteicos de pollo en presencia de los diferentes carbohidratos calentados a $90 \pm 0.5^\circ\text{C}$ por 12 h en concentraciones 1:2 proteína-carbohidrato. El glicoconjugado que presentó mayor grado de glicación fue H-GLU con 9.11 % ($P < 0.05$), seguido de H-DEX y H-MDEX 3.1 y 2.6 % respectivamente, los cuales tuvieron una glicación similar ($P > 0.05$).

Figura 2

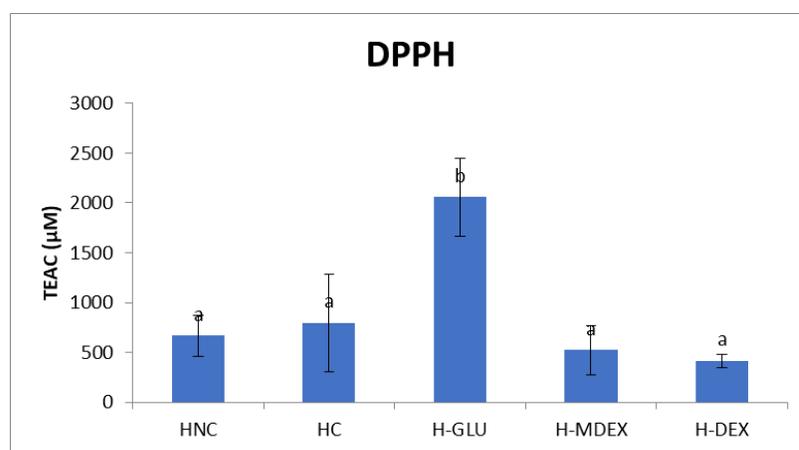
Porcentaje de glicación de proteínas de hidrolizados proteicos de pollo glicadas vía reacción de Maillard



Tras el análisis de TEAC de los glicoconjugados a los diferentes carbohidratos por la técnica de DPPH el glicoconjugado que presentó mayor capacidad antioxidante fue H-GLU 2056 μM de equivalentes de Trolox (ver Figura 3), presentando diferencias significativas ($p < 0.05$)

Figura 3

Capacidad antioxidante (TEAC) por el método de DPPH de hidrolizados proteicos de pollo glicadas vía reacción de Maillard

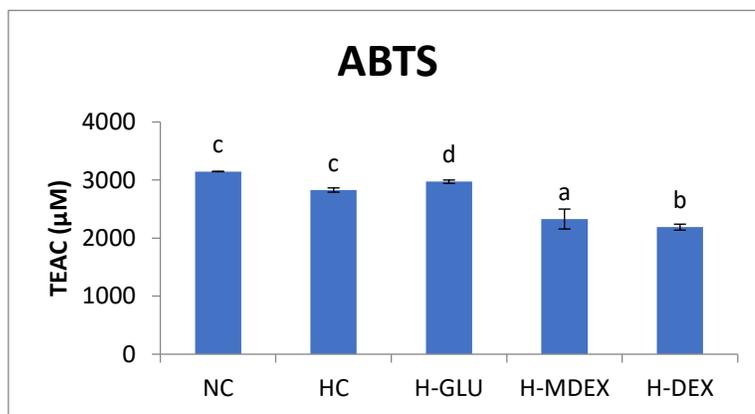


La Figura 4 muestra el análisis de TEAC de los glicoconjugados mediante la técnica de ABTS. El glicoconjugado con mayor capacidad ($P < 0.05$) antioxidante fue H-GLU, mostrando 2962 μM de equivalentes de Trolox, presentando diferencias significativas (P

<0,05) entre el hidrolizado calentado (HC) presento mayor capacidad antioxidante en comparación a los glicoconjugados formados.

Figura 4

Capacidad antioxidante (TEAC) por el método de ABTS de hidrolizados proteicos de pollo glicadas vía reacción de Maillard



Discusión

La reacción de Maillard es atribuida a la reacción entre los azúcares reductores y el grupo α -amino de aminoácidos y péptidos presentados en los hidrolizados, misma que fue monitoreada por la reacción de pardeamiento o etapas avanzadas y etapas intermedias.

Los compuestos intermedios se generan en la reacción de Maillard y luego se polimerizan en compuestos marrones. Los compuestos intermedios y marrones a menudo se determinan mediante la absorbancia de UV a 294 nm y el pardeamiento a 420 nm, respectivamente. Donde se mostró un aumento en ambas mediciones con H-GLU. Nie *et al.* (2017) obtuvo absorbancias similares glicando fracciones peptídicas de hueso de pollo con galactosa a 100°C por 90 min, esto debido a la glicación de los péptidos de bajo peso molecular y a la reactividad del carbohidrato galactosa en la reacción de Maillard. Por otro lado, la reacción de Maillard cuando reacciona con moléculas complejas como péptidos y proteínas, la unión del carbohidrato a estos polímeros será en función de los sitios de unión (grupo amino), impedimento estérico y temperatura utilizada (Mondaca-Navarro *et al.*, 2017), donde la dinámica de la formación de las etapas intermedias y avanzadas será desigual entre las biomoléculas involucradas (proteína, péptido y carbohidratos). El glicoconjugado formado por glucosa es el más reactivo o el que formó mayormente compuestos pardos poliméricos detectables por la absorbancia (λ 294nm) y la intensidad del pardeamiento (λ 420nm) en comparación con maltrodextrina y dextrano. Hwang *et al.* (2011)

demonstraron que los azúcares que pertenecen al grupo de las aldosas son más reactivos con aminoácidos que las cetosas. Las pentosas reaccionan más fácilmente que las hexosas y a su vez más reactivas que los disacáridos.

La glicación se basa en la interacción entre el grupo amino libre de la cadena lateral de la proteína y el grupo carbonilo de azúcar reductor. Por tanto, los cambios en el grupo amino se utilizan como indicador de la glicación y esta puede ser monitoreada con el método OPA (Zhou *et al.*, 2017). El grado de glicación (%) fue influenciado por el monosacárido glucosa en comparación con el polisacárido maltrodextrina y dextrano. Este aumento pudiera deberse a que la glucosa, que facilita la interacción con el grupo amino de las proteínas y péptidos de hidrolizado de vísceras de pollo (Guo *et al.*, 2018). Zhou *et al.* (2017) en su trabajo con proteínas aislada de frijol mungo (*Vigna radiate* (L.) glicadas con dextrano (modo acuoso) a la temperatura de 80 y 90 °C, obtuvieron un porcentaje de glicación de 30 y 40 % respectivamente; valores menores a los obtenidos en este estudio. Martínez-Alvarenga *et al.* (2014), formaron proteínas glicadas de una proteína láctea con maltodextrina en relación 1:2 proteína-carbohidrato (50°C a 24 h), alcanzando 17.20% de proteína glicada, obteniendo efectos mayores a los obtenidos con el mismo carbohidrato.

Los resultados obtenidos indicaron que el utilizar glucosa para glicar proteínas y péptidos del hidrolizado de vísceras de pollo fue efectiva.

Las técnicas para la determinación de la capacidad antioxidante se basan en comprobar como un oxidante induce o genera daño oxidativo a un compuesto, donde dicho daño es inhibido o reducido en presencia de un antioxidante (Quintanar-Escorza y Calderón-Salinas., 2009) es importante mencionar que la capacidad antioxidante puede ser medida y expresada de diferentes maneras: por la disminución del color, el cual indica el potencial de la muestra de captar o reducir el radical el cual es monitoreando por espectrofotometría y esta es expresada como porcentaje de inhibición, misma que es proporcional a la actividad antioxidante de la muestra en relaciona la actividad por captar ciertos radicales. Sin embargo, la capacidad antioxidante también puede ser cuantificada y expresada como Equivalentes Trolox (TEAC) donde se encuentra relacionada con la equivalencia de un antioxidante sintético o natural con la molécula de estudio (Floegel *et al.*, 2011).

Jin *et al.* (2019) afirmaron que la glicación vía reacción de Maillard podría causar cambios estructurales en las moléculas de proteínas, lo que podría generar una amplia gama de compuestos, lo que llevaría a la formación de conjugados y que estos podrían contribuir a la generación o aumento de la capacidad antioxidante. Como se observa los

glicoconjugados formados con glucosa estos mostraron mayor actividad antioxidante de acuerdo con el ensayo OPA (porcentaje de glicación) las muestras con dicho carbohidrato presentaron mayor porcentaje de glicación esto podría justificar el aumento de la capacidad antioxidante en los glicoconjugados formados con dicho carbohidrato. Sharma *et al.* (2022) determino capacidad antioxidante de carne de pollo de diferentes especies de pollos, encontrando concentraciones menores de TEAC en comparación con los hidrolizados de vísceras de pollo los pigmentos pardos formados por en la reacción de Maillard muestran un comportamiento pro-oxidante y un eliminador de radicales libres (Kitts *et al.*, 2021).

Conclusión

El estudio demostró que la glicación vía reacción de Maillard de proteínas de hidrolizado de un subproducto de la industria avícola (vísceras de pollo) posee capacidad antioxidante con el glicoconjugado formado con glucosa, evidenciando su posible uso o inclusión como ingrediente en la formulación de alimentos funcionales o nutracéuticos.

Referencias

- Anuar, M. A. K., Narashid, N. H. H., Salleh, M. M., y Yahya, A. (2017). A review: Conversion of chicken viscera into protein hydrolysate for palatant production. *Malaysian Journal of Fundamental Applied Sciences*, 13(4), 606-611
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- Church, F.C., Swaisgood, H.E., Porter, D.H. & Catignani, G.L. (1983) Spectrophotometric Assay Using o-Phthaldialdehyde for Determination of Proteolysis in Milk and Isolated Milk Proteins. *Journal of Dairy Science*. 66: 1219-1227
- Corzo-Martínez, M., Moreno, F., Villamiel, M. (2008) Structural characterization of bovine β -lactoglobulin-galactose/ tagatose Maillard complexes by electrophoretic, chromatographic, and spectroscopic methods. *J. Agric. Food Chem.* 56: 4244-4252
- de Oliveira, F.C., Coimbra, J.S.d.R., de Oliveira, E.B., Zuniga, ~ A.D.G., Rojas, E.E.G., 2016. Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the Maillard reaction: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56 (7), 1108–1125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755669>
- Djissou, A. S., Odjo, I., Godome, T., Koshio, S., y Fiogbe, E. D. (2018). Amino acids composition of maggot, earthworm, termite, and chicken viscera meals used as proteins sources in fish feeding. *International Journal of Aquaculture*, 8(23).
- Estévez-Moreno, L. X., & La Lama, G. C. M. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change? *Meat Science*, 193, 108943. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108943>
- Floegel A, Kim D-O, Chung S-J, Koo S, Chun O. (2011) comparision of ABTS/DPPH essay to mesuare antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 24:1043–1048
- Geniselli da Silva, V., y Soares de Castro, R. J. (2020). Enzymatic hydrolysis of proteins from chicken viscera in the presence of an ionic liquid enhanced their antioxidant properties. *Waste Biomass Valorization*, 11(7), 3183-3193.
- Guo, Y., Bao, Y. H., & Chai, Y. Y. (2018). Preparation of Microcapsule Antioxidative Wall Materials of Pine Nut Oil by the Maillard Reaction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

- Hedji, C., Houinato, M., Yehouenou, B., & Fiogbe, E. (2014). Effect of packaging on the microbiological quality of chicken and fish viscera flour. *International Journal of Current Microbiology Applied Sciences*, 3(10), 233-242.
- Hwang I.G., Kim Y., H., Woo S.,K., Lee J., Jeong S.H. (2011). Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar–amino acid model system. *Food Chemistry* 126, 221–227.
- Ibarz-Blanch, N., Alcaide-Hidalgo, J. M., Cortés-Espinar, A. J., Albi-Puig, J., Suárez, M., Mulero, M., Morales, D., & Bravo, F. I. (2023). Chicken slaughterhouse by-products: A source of protein hydrolysates to manage non-communicable diseases. *Trends in Food Science & Technology*, 104125.
- Jamdar, S., Rajalakshmi, V., y Sharma, A. (2012). Antioxidant and ace inhibitory properties of poultry viscera protein hydrolysate and its peptide fractions. *Journal of Food Biochemistry*, 36(4), 494-501
- Jin, H., Zhao, Q., Feng, H., Wang, Y., Wang, J., Liu, Y., Han, D., & Xu, J. (2019). Changes on the Structural and Physicochemical Properties of Conjugates Prepared by the Maillard Reaction of Black Bean Protein Isolates and Glucose with Ultrasound Pretreatment. *Polymers*, 11(5), 848.
- Kaur, G., Ahmadzadeh-Hashemi, S., Amir, S., Khan, Z. S., Gulsunoglu-Konuskan, Z., Karimidastjerd, A., Fayaz, S., Bhat M.S., Rustagi S., Bekhit Alaa E. A., & Aijaz, T. (2024). From Millet to Marvels: An Improved Future Food through Innovative Processing. *Future Foods*, 100367.
- Kitts, D. D. (2021). Antioxidant and functional activities of MRPs derived from different sugar–amino acid combinations and reaction conditions. *Antioxidants*, 10(11), 1840.
- Kpogue, D. N., Aboh, A. B., Vodounnou, D. S., Malomon, F. O., Agonha, S., & Fiogbe, E. D. (2019). Chicken viscera meal valorization in feeding of African sneekhead fish fingerlings (*Parachanna obscura*) reared in captivity: zootechnical performances, feed utilization and composition. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 12(5), 2030-2039.
- Martinez-Alvarenga, M. S., Martinez-Rodriguez, E. Y., Garcia-Amezquita, L. E., Olivas, G. I. Zamudio-Flores, P. B., Acosta-Muniz, C. H., & Sepulveda, D. R. (2014). Effect of Maillard reaction conditions on the degree of glycation and functional properties of whey protein isolate–Maltodextrin conjugates. *Food Hydrocolloids*, 38, 110-118.
- Mondaca-Navarro, B. A., Ávila-Villa, L. A., González-Córdova, A. F., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Campas-Baypoli, O. N., y Rodríguez-Ramírez, R. (2017).

- Antioxidant and chelating capacity of Maillard reaction products in amino acid-sugar model systems: applications for food processing. *J Sci Food Agric*, 97(11), 3522-3529. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8206>
- Nie, X., Xu, D., Zhao, L., & Meng, X. (2017). Antioxidant activities of chicken bone peptide fractions and their Maillard reaction products: Effects of different molecular weight distributions. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S457–S466. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1299176>
- Ojo, O. (2019). Nutrition and chronic conditions. *Nutrients*, 11, 459: 1-6.
- Peña-Saldarriaga, L. M., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2020). Quality of chicken fat by-products: Lipid profile and colour properties. *Foods*, 9(8), 1046.
- Pratyush, B., Kumar, P. S., y Kumar, R. A. (2014). Evaluation of poultry viscera as potential fish feed ingredient, compared to fishmeal. *International Journal of Current Research*, 6(02), 5241-5243
- Qi, L., Zhang, H., Guo, Y., Liu, H., & Zhang, C. (2024). Preparation, characterization and antioxidant activity analysis of three Maillard glycosylated bone collagen hydrolysates from chicken, porcine and bovine. *Food Science and Human Wellness*, 13(4), 2002-2013.
- Quintanar-Escorza M.A. & Calderón-Salinas J.V. (2009) Capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*. 28 (3): 89-101
- Sharma, R., Sehrawat, R., Ahlawat, S., Sharma, V., Parmar, A., Thakur, M. S., Mishra, A. K. & Tania, M. S. (2022). An attempt to valorize the only black meat chicken breed of India by delineating superior functional attributes of its meat. *Scientific Reports*, 12(1), 3555.
- Téllez Delgado, R., Mora Flores, J. S., & Martínez Damián, M. Á. (2016). Caracterización del consumidor de carne de pollo en la zona metropolitana del Valle de México. *Estudios sociales* 26(48), 191-209.
- Wu, Y. H. S., Lin, Y. L., Huang, C., Chiu, C. H., Nakthong, S., & Chen, Y. C. (2020). Cardiac protection of functional chicken-liver hydrolysates on the high-fat diet induced cardio-renal damages via sustaining autophagy homeostasis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2443-2452.
- Yeh, W. Y., Lin, Y. L., Yang, W. Y., Chou, C. H., Wu, Y. H. S., & Chen, Y. C. (2022). Functional chicken-liver hydrolysates ameliorate insulin resistance and cognitive decline in streptozotocin-induced diabetic mice. *Poultry Science*, 101(6), 101887.

- Zhang, X., Noisa, P., Hamzeh, A., & Yongsawatdigul, J. (2024). Glycation of tilapia protein hydrolysate decreases cellular antioxidant activity upon in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry: X*, 101228.
- Zhou, L., Wu, F., Zhang, X., & Wang, Z. (2017). Structural and functional properties of Maillard reaction products of protein isolate (mung bean, *Vigna radiate* (L.) with dextran. *International Journal of Food Properties*, 20(sup2), 1246-1258.

Capítulo 15

Caracterización parcial de glicoconjugados provenientes de hidrolizado proteico de vísceras de pollo con glucosa

Juan Bautista Flores Quezada

Alma Guadalupe Villa Lerma

Luz Angelica Ávila Villa

Rigoberto Plascencia Jatomea

Resumen

La glicación de proteínas, también conocida como reacción de Maillard, es crítica en la industria agroalimentaria por su impacto en las propiedades funcionales y nutricionales de los alimentos. Este proceso ocurre cuando azúcares reductores reaccionan con grupos aminos libres de las proteínas, formando glicoconjugados con posibles propiedades bioactivas. Las vísceras de pollo, una fuente valiosa de proteínas y nutrientes, podrían beneficiarse de la glicación controlada, mejorando sus características sensoriales y funcionales, y generando nuevos compuestos bioactivos. El objetivo de este trabajo fue caracterizar parcialmente los glicoconjugados de vísceras de pollo con glucosa obtenidos mediante pardeamiento no enzimático, proponiendo su potencial como compuestos bioactivos. Para ello, se realizó una hidrólisis autolítica de las vísceras y se cuantificó el contenido de grupos aminos libres. Los glicoconjugados se generaron combinando el extracto con glucosa en proporción de 50 mM. La formación de productos intermedios y avanzados se evaluó mediante espectrofotometría UV-Vis a 294 nm y 420 nm, respectivamente, y los cambios en el peso molecular de las proteínas se analizaron mediante SDS-PAGE. La absorbancia a 294 nm indicó la formación de productos intermedios, mientras que la absorbancia a 420 nm señaló la formación de productos avanzados de la reacción de Maillard. El análisis de SDS-PAGE mostró un aumento en los pesos moleculares de las proteínas glicadas, indicando la conjugación con azúcares reductores. Además, se observó una disminución en la intensidad de las bandas proteicas con el tiempo de incubación, sugiriendo desnaturalización y descomposición de proteínas en ausencia de glucosa. Estos resultados destacan la importancia de controlar las condiciones de reacción para optimizar la producción de glicoconjugados específicos y sugiere que la glicación controlada puede inducir cambios significativos en las propiedades bioquímicas de los subproductos avícolas, proponiendo su potencial como compuestos bioactivos.

Palabras clave: Glicación de proteínas, reacción de Maillard, grupos aminos libres

Introducción

En la industria agroalimentaria, la glicación de proteínas es un proceso de suma importancia debido a su impacto directo en las propiedades funcionales y nutricionales de los alimentos (Mondaca-Navarro *et al.*, 2020). La glicación, también denominada reacción de Maillard,

ocurre cuando los azúcares reductores como la glucosa reaccionan con los grupos amino libres de aminoácidos, péptidos o proteínas, resultando en la formación de glicoconjugados. Estos compuestos son de particular interés debido a sus posibles/potenciales propiedades bioactivas, que pueden incluir efectos antioxidantes y antibacterianos (Flores-Quezada *et al.*, 2023; Torres-Villa *et al.*, 2022).

En la industria avícola, las vísceras de pollo son una fuente valiosa de proteínas y nutrientes que a menudo no se aprovecha completamente (Anuar *et al.*, 2017). La glicación controlada de estas vísceras con glucosa podría no solo mejorar sus características sensoriales y funcionales, sino también generar nuevos compuestos bioactivos que podrían tener aplicaciones en la alimentación y la salud (Mondaca-Navarro *et al.*, 2020).

En nuestra investigación, hemos explorado las actividades biológicas en sistemas simples de aminoácidos y azúcares (Mondaca-Navarro *et al.*, 2017). En este estudio, hemos empleado un modelo de hidrolizado proteico de vísceras de pollo combinado con glucosa. La elección de utilizar el hidrolizado de vísceras de pollo se debe al desafío actual de aprovechar los desechos avícolas.

Este estudio se enfoca en la caracterización parcial de los glicoconjugados obtenidos de vísceras de pollo mezcladas con glucosa. La caracterización se realizó mediante varios métodos analíticos para comprender mejor los cambios estructurales y funcionales inducidos por la glicación. En primer lugar, se registró el pardeamiento de las muestras utilizando espectrofotometría UV, lo que proporciona una medida indirecta de la formación de productos avanzados de glicación (AGEs). Luego, se evaluaron los cambios en el peso molecular de las proteínas mediante electroforesis en gel de poliacrilamida con dodecil sulfato sódico (SDS-PAGE), permitiendo la observación de posibles modificaciones en la estructura de las proteínas.

Estos métodos combinados ofrecen una visión integral de los cambios químicos y físicos que ocurren durante la glicación de las vísceras de pollo, proporcionando una base sólida para el desarrollo de productos alimenticios mejorados y la exploración de nuevos compuestos bioactivos. La investigación en esta área no solo amplía el valor agregado de los subproductos avícolas, sino que también contribuye al avance de la ciencia de los alimentos y la biotecnología.

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue caracterizar parcialmente los glicoconjugados de vísceras de pollo con glucosa obtenidos mediante pardeamiento no enzimático, proponiendo su potencial como compuestos bioactivos.

Método

Las entrañas del pollo, como el hígado, el corazón y la molleja, fueron adquiridas en un supermercado de Ciudad Obregón, Sonora, respetando el tiempo de vida útil establecido por el proveedor. Para su conservación, estos órganos se almacenaron a una temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, garantizando así las condiciones necesarias para su adecuado uso.

Análisis estadístico

El análisis de varianza unifactorial (ANOVA) se realizó para comparar las medias de las muestras. Las diferencias significativas se determinaron utilizando un valor de $P < 0.05$ mediante la prueba Duncan, usando el software estadístico Statgraphics Plus 5.1. Los resultados fueron presentados como promedios. Este proceso se replicó tres veces utilizando muestras diferentes.

Obtención de hidrolizado proteico

Primeramente, el tejido se cortó en pequeños trozos para facilitar el proceso de homogeneización. Luego, se adicionaron las vísceras y agua destilada a una licuadora clásica de la marca Oster®, obteniendo así una mezcla homogénea de 40 % p/v. A continuación, se ajustó el pH de la mezcla a 2.8 mediante la adición gradual de HCl 1 N. La solución/suspensión se incubó a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 6 horas con agitación constante a 150 rpm. Luego, el hidrolizado obtenido se calentó hasta $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos para desactivar las enzimas autolíticas. El hidrolizado resultante se centrifugó a 20,000 g durante 15 minutos a temperatura ambiente para eliminar los componentes los insolubles. Finalmente, se recuperó el sobrenadante y se dividió en dos lotes de igual tamaño. El primer lote, con un $\text{pH} \approx 3$, se reservó en recipientes de vidrio con tapa a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el segundo lote se neutralizó con NaOH 4 M y se almacenó en las mismas condiciones que el primer lote (modificado de Jamdar y Harikumar, 2008).

Cuantificación de grupo amino libre

La determinación de la concentración del grupo amino libre se realizó mediante el método OPA (Church *et al.*, 1983). El reactivo OPA se preparó disolviendo 40 mg de o-ftaldialdehído en 1 mL de metanol, posteriormente se añadieron 25 mL de buffer de tetraborato de sodio 0.1 M, 2.5 mL de SDS 20% (m/v) y 100 μL de β -mercaptoetanol, para finalmente aforar con agua destilada a un volumen de 50 mL. La curva estándar se elaboró con concentraciones de 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25 y 2.5 mM equivalentes a L-iso-leucina. La cuantificación se realizó adicionando 50 μL de muestra a 1 mL de reactivo OPA, la mezcla se agitó en vórtex y se transfieren 2 μL al lector del fluoroespectrómetro

Thermo Scientific™ Nanodrop 3300 con una excitación (λ_{ex}) de 365 nm y de emisión (λ_{em}) de 450 nm.

Proceso de obtención de glicoconjugados

Después de la cuantificación mediante el método OPA, los extractos proteicos de vísceras de pollo a pH 3 y pH 7 se diluyeron con agua destilada hasta alcanzar una concentración final de grupos aminos libres de 50 mM. Luego, se añadió glucosa a cada extracto hasta obtener una concentración de 50 mM, con el objetivo de lograr una relación equimolar de grupos aminos libres y carbohidratos. Las muestras control consistieron en hidrolizados proteicos sin glucosa. La reacción de Maillard se llevó a cabo según lo descrito por Mondaca *et al.*, (2017), con modificaciones. Se transfirieron 5 mL de cada solución a frascos de vidrio con tapón de rosca, un frasco para cada toma de muestra, Los frascos se sometieron a calentamiento a 95 °C durante 24 horas en un horno de convección de precisión. Las muestras se tomaron a las 0, 12 y 24 horas. La reacción se mitigó en un baño de hielo, y luego las muestras se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

Medición de absorbancia UV y pardeamiento

La absorbancia UV y el pardeamiento de hidrolizado proteico de vísceras de pollo (HPVP) glicados con glucosa se determinaron utilizando el método descrito por Wu *et al.*, (2021). Las muestras se disolvieron previamente en agua destilada en una dilución 1/100 y se sometieron a mediciones de absorbancia a 294 nm y 420 nm utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific Multiskan Go. Este procedimiento permitió estimar la presencia tanto de productos intermedios como finales. Se realizaron mediciones por triplicado para garantizar la precisión de los resultados.

Análisis de generación de glicoconjugados por SDS - PAGE

La muestra se preparó para la separación en geles mezclándola en una proporción 1:1 con el tampón de carga, y las muestras se hirvieron durante 5 minutos a 90°C. Posteriormente, se cargaron 20 μ L de cada muestra en carriles separados de un gel de poliacrilamida al 13%. Se empleó un marcador molecular SigmaMarker™ de rango amplio (peso molecular 6500-200000 Da) como estándar. La electroforesis se realizó en una cámara Biorad Mini-Protean Tetra System a un voltaje de 200 V durante aproximadamente una hora, hasta que el frente del tinte se desplazó completamente hacia la parte inferior del gel. Luego, el gel fue retirado del dispositivo y fijado con azul de Coomassie brillante R-250 (0.1% en peso/volumen, 10% de ácido acético, 40% de metanol) durante 3 horas. Para eliminar el exceso de colorante, los geles se sumergieron en una solución decolorante (10% de ácido acético, 40% de metanol) y se renovó la solución hasta que el colorante

desapareció por completo. Finalmente, se capturaron imágenes de los geles resultantes mediante el uso de un fotodocumentador MiniBis Pro Bio-Imaging Systems.

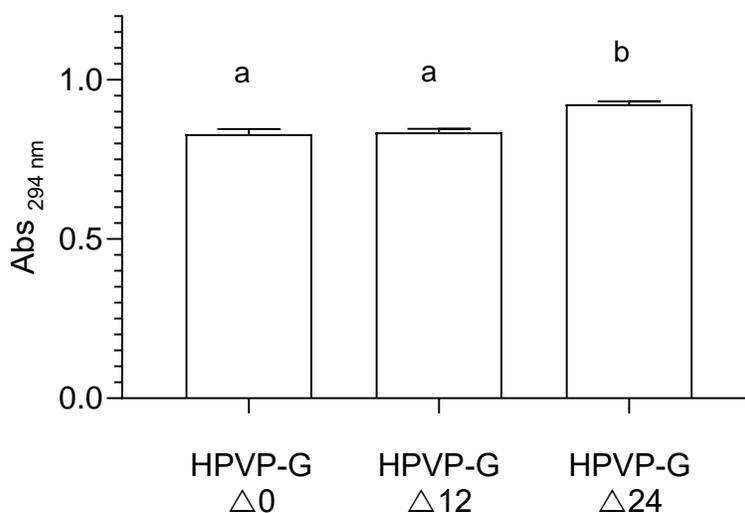
Resultados y discusión

Medición de absorbancia UV y pardeamiento

La detección de absorbancia a 294 nm indica la presencia de productos intermedios de la reacción de Maillard, mientras que la absorbancia a 420 nm señala la formación de productos avanzados. En la Figura 1 se presentan las absorbancias a 294 nm de los productos intermedios a pH7, donde el tratamiento HPVP-G Δ 24 mostró una diferencia significativa ($P < 0.05$) en comparación con los tratamientos HPVP-G Δ 0 y HPVP-G Δ 12 destacándose un aumento del 11.3% respecto a HPVP-G Δ 0.

Figura 1

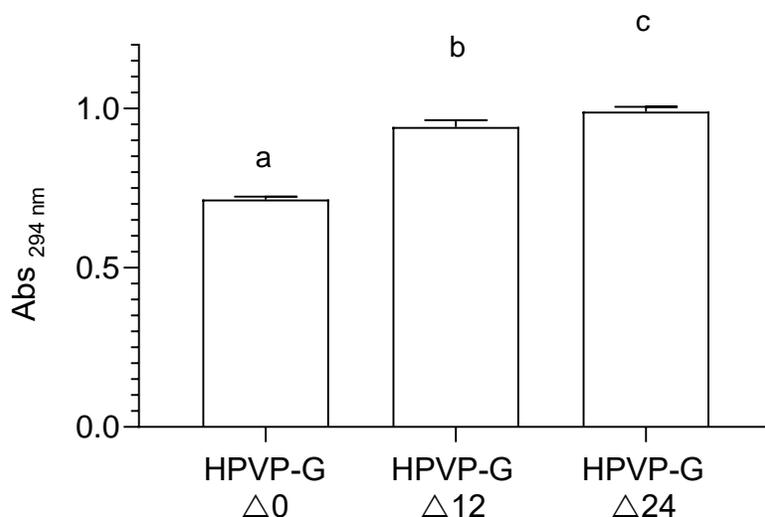
Intensidad de los productos intermedios de la reacción de Maillard pH7



En la Figura 2, se muestran las absorbancias a 294 nm de los ensayos a pH3, donde todos presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), con un incremento del 35.5% en la absorbancia del HPVP-G Δ 24 en comparación con HPVP-G Δ 0.

Figura 2

Intensidad de los productos intermedios de la reacción de Maillard pH3

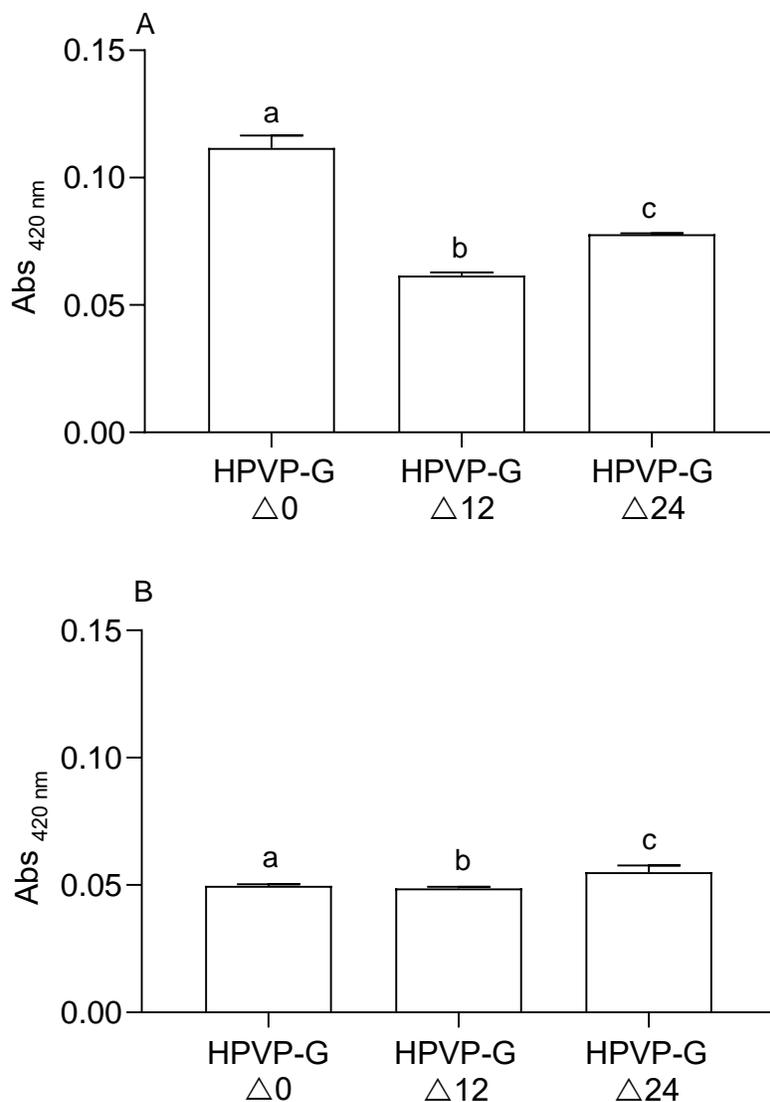


La Figura 3 presenta las absorbancias a 420 nm de los productos avanzados. En el caso de la figura 2A, se observa que los ensayos HPVP-G Δ0, HPVP-G Δ12 y HPVP-G Δ24 revelaron diferencias significativas en todos los tratamientos. Respecto a la figura 2B, se encontraron incrementos significativos en comparación con HPVP-G Δ0, siendo el mayor aumento del 30.4% en HPVP-G Δ24. Estos hallazgos evidencian que la reacción de Maillard se desarrolló significativamente al incrementar gradualmente el tiempo de calentamiento. Se han encontrado informes similares en diferentes estudios que respaldan estos resultados, utilizando diversos sistemas proteína-carbohidrato (Flores-Quezada, *et al.*, 2022).

Figura 3

Intensidad de los productos avanzados de la reacción de Maillard.

(A: pH7; B: pH3)



Análisis de generación de glicoconjugados por SDS – PAGE

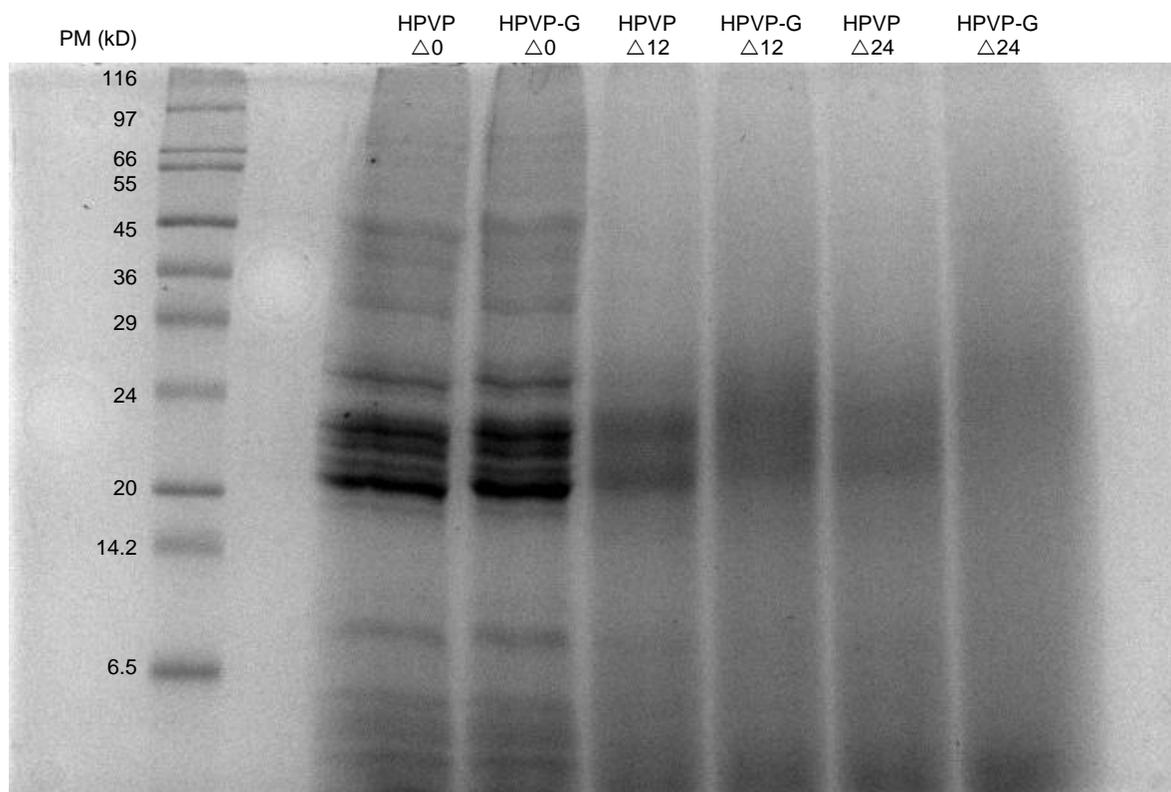
La glicación de proteínas conlleva diversas consecuencias, entre las cuales se incluye el aumento de los pesos moleculares de las proteínas y sus subunidades debido a la conjugación con azúcares reductores. En este sentido, el cambio en los pesos moleculares de los glicoconjugados obtenidos pudo ser observado a través de la técnica de SDS-PAGE.

En las Figuras 4 y 5, se pueden observar los pesos moleculares del HPVP a pH7 y pH3 respectivamente, ambos son conjugados con glucosa y distribuidos en cinco grupos,

los cuales se han definido según el marcador de referencia utilizado (200 – 6.5 kDa). El primer grupo abarca pesos moleculares entre 66 y 73 kDa, el segundo va de 35 a 53 kDa, el tercero se ubica dentro del rango de 15 a 27 kDa, el cuarto presenta valores de 8 y 9 kDa, y, por último, las fracciones con pesos moleculares por debajo de los 6.5 kDa.

Figura 4

Electroferograma de los glicoconjugados de hidrolizado de vísceras de pollo y glucosa pH7



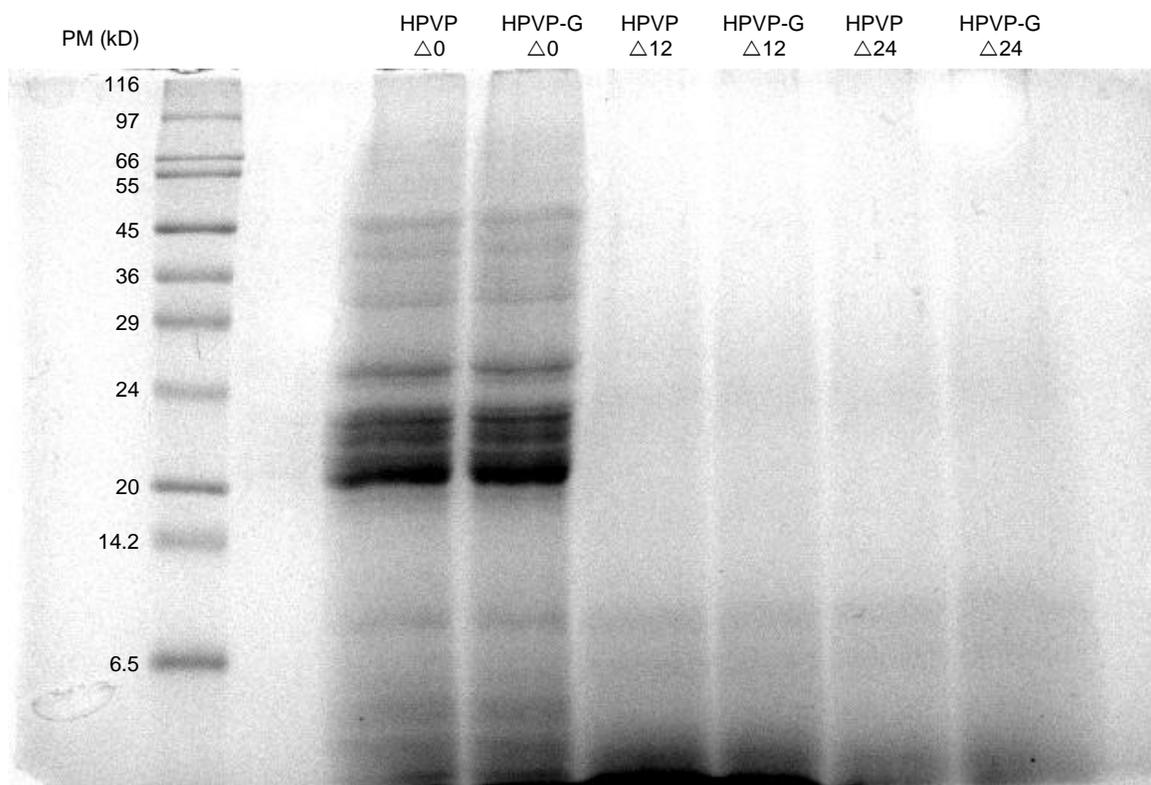
Nota: HPV Δ 0 (hidrolizado proteico solo); HPV-G Δ 0 (hidrolizado proteico con glucosa); HPV Δ 12 (hidrolizado proteico solo calentado 12 horas); HPV-G Δ 12 (hidrolizado proteico con glucosa calentado 12 horas); HPV Δ 24 (hidrolizado proteico solo calentado 24 horas); HPV-G Δ 24 (hidrolizado proteico con glucosa calentado 24 horas).

Al comienzo del proceso de glicación, antes de que el HPV Δ 0 y el HPV-G Δ 0 sean sometidos a tratamiento térmico, es posible identificar bandas claramente definidas, siendo notable el grupo de fracciones que oscilan entre 15 a 27 kDa, el cual muestra la mayor intensidad. En 2005, Jamdar y Harikumar identificaron este intervalo como los compuestos de menor peso molecular derivados del hidrolizado de las cadenas pesadas de miosina, una proteína contráctil presente en los filamentos gruesos de las fibras

musculares de las vísceras de pollo. En este rango es posible observar un cambio en la intensidad de las bandas respecto al tiempo de calentamiento. Conforme aumentó el tiempo de incubación de las muestras en todos los carriles las bandas perdieron definición e intensidad.

Figura 5

Electroferograma de los glicoconjugados de hidrolizado de vísceras de pollo y glucosa pH3.



Nota: HPVP Δ 0 (hidrolizado proteico solo); HPVP-G Δ 0 (hidrolizado proteico con glucosa); HPVP Δ 12 (hidrolizado proteico solo calentado 12 horas); HPVP-G Δ 12 (hidrolizado proteico con glucosa calentado 12 horas); HPVP Δ 24 (hidrolizado proteico solo calentado 24 horas); HPVP-G Δ 24 (hidrolizado proteico con glucosa calentado 24 horas).

En el caso de los carriles con HPVP en ausencia de glucosa, la disminución de la intensidad podría estar relacionada con la desnaturalización y descomposición de las proteínas. Esto concuerda con lo informado por Bakar *et al.*, (2021), quienes sugirieron que la ausencia de la cadena β probablemente se debió al hidrólisis térmica a 90 °C. Su estudio se centró en el desarrollo de gelatinas mediante la hidrólisis de colágeno proveniente de cabezas de pollo, donde los fragmentos de cadena beta son una de las principales proteínas presentes en la gelatina. En contraposición a lo anterior, varios estudios realizados para

investigar el proceso de glicosilación de proteínas indican que los cambios observados en el análisis del electroferograma, como el desvanecimiento de las bandas proteicas, la reducción de la intensidad de tinción de las bandas y la dispersión de la tinción a lo largo del carril, son señales del entrecruzamiento proteína-carbohidrato. Esto sugiere que el proceso de glicación pudo haber tenido lugar según lo observado en estudios previos (Pirestani *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2012).

Conclusión

La caracterización parcial realizada indicó que la glicación controlada puede inducir cambios significativos en las propiedades bioquímicas de los subproductos avícolas. La reacción de Maillard se evidenció por el incremento en la absorbancia a 294 nm y 420 nm, lo que sugiere la formación de productos intermedios y avanzados. El análisis de la glicación a diferentes pH mostró diferencias significativas en la formación de productos intermedios y avanzados, destacando la importancia del control de las condiciones de reacción para optimizar la producción de glicoconjugados específicos. Se confirmó la glicación alcanzada mediante el análisis SDS-PAGE, revelando cambios en la estructura molecular y el peso molecular de las proteínas. Sin embargo, se recomienda repetir el ensayo SDS-PAGE para confirmar que las proteínas no se están degradando durante el proceso.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente al Ingeniero Jesús Roberto Kinijara Morales, cuyo apoyo como estudiante fue crucial para la realización de este proyecto. Sin su dedicación y esfuerzo, no habría sido posible llevarlo a cabo.

Referencias

- Anuar, M. A. K., Narashid, N. H. H., Salleh, M. M., & Yahya, A. (2017). A review: Conversion of chicken viscera into protein hydrolysate for palatant production. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(4), 606-611.
- Church, F., Swaisgood, H., Porter, D. & Catignani, G. (1983). Spectrophotometric assay using o-Phthaldialdehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins. *Journal of Dairy Science*, 22, 1219-1227.
- Ee, S. C., Bakar, J., Saari, N., Abas, F., & Ismail, A. (2021). Rheological and molecular properties of chicken head gelatin as affected by combined temperature and time using warm water rendering. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1495-1509.
- Flores-Quezada, J.B., Villa-Lerma, A.G., Rodríguez-Ramírez, R., Plascencia-Jatomea, R. & Ávila-Villa, L.A. (2023). Potencial antioxidante de mezclas de extractos proteicos de vísceras de pollo y glucosa glicadas vía reacción de Maillard. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería A.C.* (27)4: 385.
- Flores-Quezada, J.B., Villa-Lerma, A.G., Rodríguez-Ramírez, R., Plascencia-Jatomea, R., Ávila-Villa, L.A & Kinijara-Morales, R. (2022). Efecto del tiempo de calentamiento sobre hidrolizado de vísceras de pollo glicado vía reacción de Maillard. *La Sociedad Académica*. 30(59): 88-89.
- Jamdar, S. N., & Harikumar, P. (2005). Autolytic degradation of chicken intestinal proteins. *Bioresource technology*, 96(11), 1276-1284.
- Jamdar, S. N., & Harikumar, P. (2008). A rapid autolytic method for the preparation of protein hydrolysate from poultry viscera. *Bioresource technology*, 99(15), 6934-6940.
- Mondaca-Navarro, B. A., Ávila-Villa, L. A., González-Córdova, A. F., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Campas-Baypoli, O. N., & Rodríguez-Ramírez, R. (2017). Antioxidant and chelating capacity of Maillard reaction products in amino acid-sugar model systems: applications for food processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3522-3529.
- Mondaca-Navarro, B. A., Torres-Arreola, W., Ávila-Villa, L. A., Villa-Lerma, A. G., Hernández-Mendoza, A., Wall-Medrano, A., & Ramírez, R. R. (2020). Obtaining glycoconjugates of marine origin via Maillard reaction and their cytotoxic effect: an alternative for the use of animal byproducts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3228-3235.

- Pirestani, S., Nasirpour, A., Keramat, J. & Desobry, S. (2017). Preparation of chemically modified canola protein isolate with gum Arabic by means of Maillard reaction under wet-heating conditions. *Carbohydrate Polymers*, 155, 201-207.
- Pirestani, S., Nasirpour, A., Keramat, J. & Desobry, S. (2017). Preparation of chemically modified canola protein isolate with gum Arabic by means of Maillard reaction under wet-heating conditions. *Carbohydrate Polymers*, 155, 201-207.
- Tan, T., Abbas, F. & Azhar, M. (2012). Characterization of the ribose-induced Maillard reaction in minced chicken and minced pork: a potential means of species differentiation. *International Food Research Journal*, 19, 481-489.
- Torres-Villa, H.A., Villa-Lerma, A.G., Rodríguez-Ramírez, R., Hernández-Olivera, E.A., Plascencia-Jatomea, R. & Flores-Quezada, J.B. (2022). Efecto antimicrobiano de glicoproteínas obtenidas a partir de vísceras de pollo. *La Sociedad Académica*. 30(59): 52-53.
- Wu, J., Chen, H., Zhou, L., Liu, W., Zhong, J., & Liu, C. (2021). An insight into heat-induced gelation of whey protein isolate–lactose mixed and conjugate solutions: rheological behavior, microstructure, and molecular forces. *European Food Research and Technology*, 247, 1711-1724.

Capítulo 16

Ensayo isotérmico-colorimétrico para la detección rápida y sencilla del virus de la rinotraqueítis infecciosa bovina

Carlos Eduardo Aragón López

Marcela Ivone Morales Pablos

Luis Ángel Flores Encinas

José Clemente Leyva Corona

Resumen

La *rinotraqueítis infecciosa bovina (IBR)* es causada por el *herpes virus bovino tipo 1* y tiene un impacto negativo en los parámetros reproductivos en los sistemas de producción bovino. Los métodos actuales de diagnóstico presentan baja sensibilidad y especificidad, son caros, requieren equipo robusto y procedimientos complejos. El objetivo del estudio fue desarrollar un ensayo LAMP para la detección colorimétrica del virus de la Rinotraqueítis infecciosa bovina (crLAMP-RIB). Se diseñaron nuevos primers, se utilizó rojo fenol como colorante, así como un método de precipitación de ADN sin purificación para la detección directa del virus. Se diseñó un conjunto de primers dirigidos a la glicoproteína gE, optimizándolos inicialmente con 1 µl de ARN de la vacuna, 1 µl de vacuna no purificada y 1 µl de ADN de vaca como control negativo. Los nuevos primer fueron evaluados exponiéndolos a diferentes patógenos abortivos. La reacción crLAMP-RIB logró amplificar el ADN purificado y no purificado a partir de los 15 minutos a una temperatura de 65°C y sin reacción cruzada a otro patógeno abortivo. Por su rapidez y eficiencia, este método tiene gran potencial para el control en campo de *rinotraqueítis infecciosa bovina* en México.

Palabras clave: *Patógeno, ADN, LAMP, detección*

Introducción

El *herpesvirus bovino tipo 1 (BoHV-1)*, perteneciente a la familia *Herpesviridae* y al género *Varicellovirus*, es el agente etiológico de la *rinotraqueítis infecciosa bovina (RIB)*, una enfermedad viral altamente contagiosa y de distribución mundial que afecta significativamente la salud y productividad del ganado. Este virus tiene la capacidad de establecer infecciones latentes en los hospedadores, lo que dificulta su erradicación y perpetúa su impacto en la industria ganadera. La RIB se caracteriza por un amplio rango de manifestaciones clínicas que incluyen síntomas respiratorios, tales como fiebre, secreción nasal purulenta, conjuntivitis y neumonía, así como problemas reproductivos que

abarcan abortos, disminución en la tasa de concepción y trastornos en el ciclo estral (Sayers, 2017). Estas afectaciones tienen consecuencias económicas importantes debido a la disminución en la producción de leche, el incremento en los costos veterinarios y las restricciones comerciales en los sistemas ganaderos.

En México, la RIB fue diagnosticada por primera vez en 1971, y desde entonces, se ha documentado la presencia del BoHV-1 en distintas regiones del país. Estudios epidemiológicos han confirmado su asociación con problemas reproductivos en hatos bovinos, posicionándolo como una amenaza constante para la ganadería nacional. Este escenario resalta la necesidad de implementar estrategias eficaces de vigilancia y control, donde la identificación temprana de animales positivos al BoHV-1 resulta crucial para limitar la diseminación del virus y minimizar sus impactos.

Aunque la qPCR se posiciona como procedimiento de diagnóstico estándar, la duración, los costos y la necesidad de equipos especializados pueden ser factores obstaculizadores, particularmente en regiones de recursos limitados o puntos de control de difícil acceso. En la actualidad, se han establecido aplicaciones más simples, rápidas y económicas, como la amplificación isotérmica mediada por bucle (LAMP). Este método fue desarrollado por Notomi (2000) y ha mejorado constantemente (Notomi et al., 2015). LAMP utiliza una polimerasa que permite la incubación a una temperatura constante y no requiere un termociclador para ejecutar el ensayo. Se utilizan seis cebadores para amplificar la región objetivo, lo que lo hace altamente específico. Además, produce grandes cantidades de ADN (10 copias) y recientemente se ha visto que la reacción puede identificarse visualmente por colorimetría (Shi et al., 2021). A diferencia de las variantes de PCR, el método LAMP ha demostrado gran tolerancia a los fluidos biológicos, lo que implica la eliminación de la purificación del material genético (Oyhenart, 2018). Por tanto, LAMP es una herramienta alternativa atractiva en áreas con recursos limitados y en situaciones donde el tiempo juega un papel crucial en el control de la propagación de una enfermedad.

Diversos ensayos LAMP se han desarrollado previamente para la detección del BoHV-1 (Fan et al., 2018; Socha et al., 2017). Sin embargo, muchos de estos protocolos dependen de mediciones mediante fluorescencia o análisis por electroforesis en gel, lo que requiere equipos especializados y puede limitar su implementación en laboratorios con recursos limitados. Más recientemente, se han propuesto métodos LAMP que emplean colorantes visuales y prescinden de la purificación del material genético, aprovechando la robustez de la enzima Bst, conocida por su tolerancia a los inhibidores comunes en otras técnicas moleculares. Estas características no solo simplifican el proceso, sino que también

reducen significativamente los costos, el tiempo de procesamiento y el riesgo de contaminación con material genético ambiental. En este contexto, el objetivo del estudio fue desarrollar un ensayo LAMP colorimétrico optimizado para la detección de RIB (crLAMP-RIB), empleando rojo fenol como colorante visual. Este enfoque busca ofrecer una herramienta accesible, de fácil implementación y altamente sensible, ideal para el diagnóstico temprano y la gestión eficaz de brotes de la enfermedad.

Materiales y métodos

El tipo de estudio fue experimental debido al diseño de una prueba diagnóstica para la detección del virus de la rinotraqueítis infecciosa bovina. El trabajo se realizó en el Laboratorio de Desarrollo e Innovación en Biotecnología Veterinaria en Medicina Veterinaria y Zootecnia del Instituto Tecnológico de Sonora.

Tabla 1

Especificaciones para el diseño de oligonucleótidos para la técnica de PCR

Consideración	Especificación
Tamaño de los oligonucleótidos	15 – 25 nucleótidos (no más de 25)
Contenido de GC	40 – 60 %
T _m	55 – 65 °C
Valor ΔG en el extremo 3'	$\Delta G \leq -4.0$ kcal/mol
Dímeros de oligonucleótidos	Débiles ($\Delta G > -4.0$ kcal/mol)
Estructura secundaria	Débiles ($\Delta G > -4.0$ kcal/mol)
Cantidad máxima de nucleótidos repetidos	4
Tamaño de amplificación	100-200 pb

Diseño de primers

Se diseñaron primers utilizando la secuencia del gen de la glicoproteína E (gE) utilizando la plataforma NEB LAMP Primer Design Tool versión 1.4.1 (<https://lamp.neb.com/#/>), generando seis primers [F3, B3, FIP (F1c + F2) y BIP (B1c + B2), LF, LB] que reconocen un total de ocho regiones del gen gE. Todos los cebadores fueron purificados y sintetizados por ADN ARTIFICIAL S DE RL DE CV (T4OLIGO) (ver Tabla 1).

Control positivo (CTRL)

El ARN genómico de la *RIB* se extrajo directamente a partir de 200 μ l de la vacuna comercial Providean® utilizando el kit de extracción para ADN/ARN TACO, el cual está basado en la separación por perlas magnéticas, siguiendo las recomendaciones del

fabricante. La concentración y la pureza de los ARN extraídos se cuantificaron utilizando un espectrofotómetro para conocer la cantidad y calidad del material genético extraído.

Optimización y validación de las condiciones del ensayo LAMP colorimétrico (crLAMP-RIB)

La reacción se llevó a cabo utilizando el kit WarmStart® Colorimetric LAMP 2X Master Mix con UDG de un solo paso, en un volumen final de 10µl. Se añadió 1 µl de los cebadores (10X) descritos en la Tabla 2, 5 µl de WarmStart® Colorimetric LAMP 2X Master Mix con UDG, 3 µl de agua libre de nucleasas (Nfw); utilizando 1 µl de ADN de la vacuna, 1 µl de Vacuna no purificada y 1 µl de ADN de presunta vaca sana como control negativo.

La reacción fue llevada a 65°C por 40 minutos en una mini-incubadora (Bio Rad). Los tubos de reacción LAMP se inspeccionaron visualmente para determinar el cambio de color del tinte rojo fenol. Las reacciones negativas permanecen en color rosa y las positivas cambian a color amarillo.

Especificidad analítica de crLAMP-RIB

Para evaluar la especificidad, se utilizó material genético de muestras clínicas previamente confirmadas como positivas para BVDV, *Leptospira* spp. y *C. abortus*. Estas muestras fueron sometidas al ensayo crLAMP-RIB utilizando los cebadores diseñados para el BoHV-1. Paralelamente, se incluyó material genético de BoHV-1 como control positivo y agua libre de nucleasas como control negativo. Las reacciones se realizaron bajo las mismas condiciones estándar optimizadas para el ensayo.

Resultados

El diseño de los nuevos cebadores LAMP para la detección de *rinotraqueítis infecciosa bovina* (RIB) se centró en amplificar una región conservada del genoma del herpesvirus bovino tipo 1 (BoHV-1). Los cebadores diseñados (Tabla 2) incluyeron dos cebadores externos (F3 y B3), dos internos (FIP y BIP) y dos en bucle (LF y LB), los cuales se evaluaron en términos de parámetros críticos como temperatura de fusión (T_m), contenido de guanina-citosina (%GC) y estabilidad estructural para garantizar su especificidad y eficiencia. Los análisis bioinformáticos mostraron que los valores de T_m de los cebadores estuvieron dentro del rango recomendado para reacciones LAMP (60–65 °C), mientras que el contenido de %GC fue consistente con lo necesario para evitar estructuras secundarias indeseadas y maximizar la especificidad de unión. Además, las secuencias no mostraron complementariedad significativa con el genoma de patógenos bovinos no objetivo ni con el genoma bovino, lo que reduce el riesgo de amplificación inespecífica.

Tabla 2

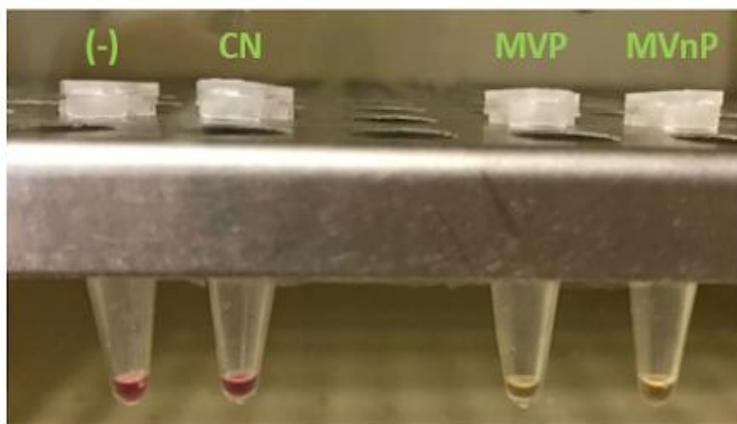
Lista de oligonucleótido empleados para la estandarización de la técnica LAMP

Gen	Primer	Secuencia
GlicoproteínaE	F3	CCGCGCAAGCCAGAAG
	B3	CATCCGCAGGGGGTT
	FIP	TCGTTGGTCGGCAAGCTGGCGCACCTACGACAT CCTCA
	BIP	GGTGGTGCCAGTTAGCGACGCGCTGTCGTCATC CGCAA
	LF	GTATACGGGCCCCGAAGG
	LB	CGAATTTTCCCTCGACGAAGA

El ensayo crLAMP-RIB se optimizó y validó utilizando cebadores dirigidos al gen de la glicoproteína E (gE) del BoHV-1 (ver Figura 1). Este gen fue seleccionado debido a su alta conservación entre cepas y su relevancia como marcador diagnóstico. Las condiciones optimizadas se evaluaron en diferentes tipos de muestras: Ácidos nucleicos purificados (ARNvac): 1 ng de ARN extraído de una vacuna comercial contra BoHV-1, Vacuna sin purificación de ARN: 1 µL de vacuna sin procesos de extracción de material genético y Control negativo: 1 ng de ácidos nucleicos de una vaca presuntamente sana, confirmada como negativa para BoHV.

Figura 1

Optimización y validación de crLAMP-RIB con ADN de vacuna



Nota: Análisis colorimétrico que demuestra la optimización del ensayo crLAMP-TF. (-): negativo, CN: Control negativo de vaca presuntamente sana, MVP: Muestra de vacuna purificada, MVnP: Muestra de vacuna no purificada

El ensayo empleó rojo de fenol como indicador colorimétrico para identificar visualmente la amplificación del material genético. Las muestras positivas presentaron un

cambio de color de rosa (indicativo de un resultado negativo) a amarillo (indicativo de un resultado positivo), lo que permitió una fácil interpretación sin necesidad de equipos especializados.

La reacción crLAMP-RIB se llevó a cabo a 65 °C, obteniéndose resultados diferenciados según el tipo de muestra evaluada. Para el ARNvac purificado, se observó una amplificación exitosa en solo 15 minutos, con el cambio de color esperado de rosa a amarillo. En el caso de la vacuna sin purificación de ARN, la amplificación fue igualmente exitosa, aunque tomó 18 minutos, lo que demuestra la robustez del ensayo frente a la ausencia de pasos previos de purificación del material genético. Por otro lado, el control negativo, correspondiente a ácidos nucleicos de una vaca presuntamente sana, permaneció rosa durante todo el período de incubación, confirmando la ausencia de amplificación inespecífica. Todas las muestras se mantuvieron en incubación hasta un máximo de 40 minutos, tal como se indica en el protocolo optimizado, para evaluar la estabilidad del ensayo y descartar la posibilidad de falsos positivos (Figura 2).

Para garantizar la reproducibilidad de los resultados, cada muestra se evaluó por duplicado bajo las mismas condiciones experimentales. Los resultados consistentes entre réplicas confirmaron la fiabilidad y robustez del ensayo crLAMP-RIB.

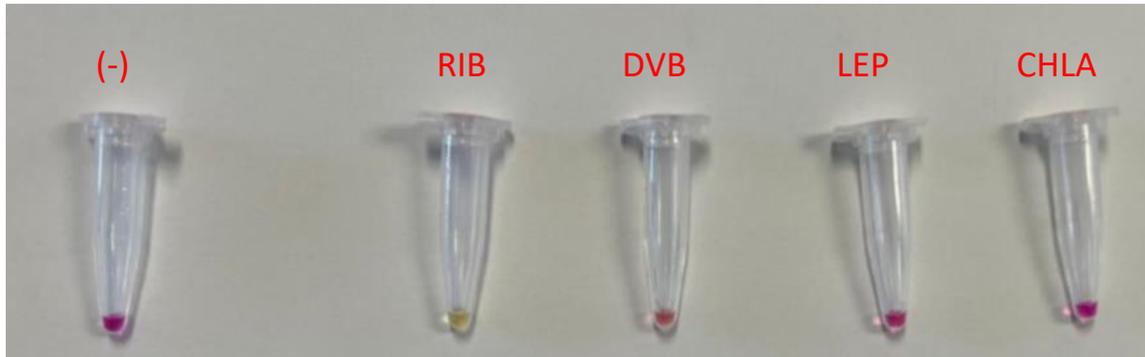
La especificidad de los cebadores diseñados para la detección de *rinotraqueítis infecciosa bovina* se evaluó mediante la amplificación de material genético de BoHV-1 en comparación con el de otros patógenos bovinos comunes. Para este propósito, se incluyeron microorganismos que causan enfermedades con síntomas clínicos similares a los de RIB o que son prevalentes en bovinos: el virus de la diarrea viral bovina (BVDV), *Leptospira spp.*, y *Chlamydia abortus*. Se realizaron reacciones crLAMP individuales utilizando material genético purificado de BoHV-1 como control positivo, material genético purificado de muestras positivas para BVDV, *Leptospira spp.*, y *Chlamydia abortus*, así como agua libre de nucleasas como control negativo. Las reacciones se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones optimizadas del ensayo crLAMP-RIB (65 °C, 40 minutos), utilizando rojo de fenol como indicador visual para detectar la amplificación.

En las reacciones con material genético de BoHV-1, se observó un cambio de color claro de rosa a amarillo, confirmando la amplificación específica del objetivo. En contraste, las reacciones realizadas con material genético de BVDV, *Leptospira spp.*, y *Chlamydia abortus* no mostraron ningún cambio de color, manteniéndose rosa durante todo el tiempo de incubación (Figura 2). El control negativo también permaneció sin cambios, lo que garantiza la ausencia de contaminación o amplificación inespecífica. Los resultados

demuestran que los cebadores diseñados no presentan reactividad cruzada con los microorganismos evaluados, lo que indica una alta especificidad para la detección del BoHV-1. Este hallazgo es particularmente relevante en el diagnóstico diferencial de enfermedades bovinas, ya que reduce significativamente el riesgo de falsos positivos causados por patógenos no objetivo abortivos.

Figura 2

Especificidad analítica de crLAMP-RIB



Nota: (-): Negativo, RIB: *Rinotraqueitis Infecciosa Bovina*, DVB: *Diarrea Viral Bovina*, LEP: *Leptospira*, CHLA: *Chlamydia abortus*.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la creciente evidencia que demuestra la alta sensibilidad y especificidad de los ensayos LAMP en el diagnóstico de diversas enfermedades infecciosas, incluyendo aquellos causados por patógenos en el ganado. En particular, este estudio valida la capacidad de los cebadores diseñados para la detección de BoHV-1 mediante la técnica crLAMP-RIB, que ha sido optimizada para utilizarse con muestras biológicas sin necesidad de purificación del ADN. Esta característica es esencial en contextos donde la rapidez, accesibilidad y bajo costo de la prueba son cruciales, y donde el tiempo y los recursos limitados son un factor determinante.

La polimerasa Bst, utilizada en los ensayos LAMP, es significativamente más robusta que la utilizada en la PCR tradicional. Esto le permite tolerar inhibidores comunes en muestras biológicas, como proteínas, compuestos fenólicos y sales, que a menudo interfieren con los ensayos PCR convencionales. Esta propiedad es una ventaja fundamental de LAMP, ya que elimina la necesidad de purificar el material genético antes de la amplificación. Varios estudios previos han demostrado la aplicabilidad de LAMP en otros patógenos abortivos, como *Trichomonas foetus* (Oyhenart & Moreno, 2022), *Leptospira spp.* (Pacce et al., 2022), y el virus

de la *diarrea viral bovina* (BVDV) (Mungthong et al., 2018), donde se observó una alta sensibilidad incluso en presencia de estos inhibidores. Esta tolerancia es clave para la optimización de crLAMP-RIB, ya que garantiza que el ensayo sea confiable incluso cuando se trabajan con muestras de campo que pueden contener estos inhibidores.

Comparado con los métodos tradicionales de diagnóstico de BoHV-1, como la PCR, que requieren equipos costosos y procedimientos largos (Fan et al., 2018; Socha et al., 2017), crLAMP-RIB presenta claras ventajas. En particular, el método LAMP no solo ofrece una detección rápida y sencilla, sino que también es capaz de proporcionar resultados visibles a simple vista gracias a su sistema de colorimetría. Esto elimina la necesidad de equipamiento especializado como un termociclador o un sistema de detección de fluorescencia, lo que resulta en una significativa reducción de costos y tiempo. En nuestro estudio, se observó que el cambio de color de rosa a amarillo se alcanzó en tan solo 15 minutos para muestras purificadas y en 18 minutos para muestras no purificadas, lo que es considerablemente más rápido que los métodos basados en PCR, que requieren tiempos de incubación más largos y pasos adicionales, como la electroforesis en gel.

La facilidad de uso y la rapidez del crLAMP-RIB también lo hacen ideal para su implementación en puntos de atención, especialmente en áreas rurales o en situaciones de emergencia. Esto se alinea con la tendencia global hacia el uso de tecnologías más accesibles y efectivas para el diagnóstico de enfermedades infecciosas, especialmente en países con recursos limitados. Aunque LAMP ha ganado terreno en muchos países como una herramienta diagnóstica confiable, su adopción en México ha sido relativamente lenta. Sin embargo, la pandemia de SARS-CoV-2 ha acelerado la aceptación y el uso de técnicas basadas en LAMP en todo el mundo, demostrando su efectividad y facilidad de implementación para pruebas rápidas de alta sensibilidad (Fan et al., 2018; Wei et al., 2021). Este fenómeno sugiere que el crLAMP-RIB podría ser una herramienta valiosa para la vigilancia y control de la RIB contribuyendo a un mejor manejo de la sanidad animal y, por lo tanto, a la seguridad alimentaria.

El crLAMP-RIB, que no requiere purificación de la muestra y puede realizarse con una mínima manipulación de reactivos, tiene el potencial de ser utilizado no solo en laboratorios convencionales, sino también en sitios de campo, facilitando la detección temprana de brotes de RIB en condiciones de trabajo complejas. La aplicación de crLAMP-RIB en puntos de atención podría ser particularmente útil para la detección temprana de animales infectados en situaciones de brotes, permitiendo una intervención rápida que pueda reducir la propagación de la enfermedad y mitigar sus impactos en la producción ganadera. Esta capacidad de diagnóstico rápido es esencial para implementar medidas de control efectivas, como la

cuarentena o el aislamiento de animales infectados, y para tomar decisiones informadas sobre la gestión de los rebaños afectados.

Además, el crLAMP-RIB es una herramienta potencialmente transferible a otros patógenos bovinos, lo que abre la posibilidad de adaptar la tecnología para la detección de otras enfermedades que afectan la salud y productividad del ganado. Esto podría ofrecer una solución eficiente y económica para mejorar los programas de control sanitario en el país y en otras regiones con desafíos similares. La capacidad de esta técnica para realizar diagnósticos rápidos, precisos y económicos tiene el potencial de transformar la forma en que se gestionan las enfermedades infecciosas en el ganado, especialmente en áreas con recursos limitados o en lugares donde el acceso a tecnologías avanzadas es restringido.

Conclusiones

Los primers diseñados en el gen de la glicoproteína *E* que se utilizaron para el ensayo crLAMP-RIB lograron detectar material genético del virus de la RIB sin mostrar reacción cruzada con ADN de otros patógenos abortivos. Es la primera técnica isotérmica colorimétrica con rojo fenol para la detección visual de *RIB* sin purificación de ADN., Por sus características crLAMP-RIB no requiere de personal experimentado y puede ser aplicado en laboratorios básicos e incluso en campo. Por la rapidez, sencillez y especificidad de este método, tiene gran potencial para el control y erradicación de *RIB* en los sistemas de producción de bovinos lecheros o para carne si se emplea como prueba diagnóstica en la movilización de bovinos.

Referencias

- Fan, Q., Xie, Zhixun, Xie, Zhiqin, Xie, L., Huang, J., Zhang, Y., Zeng, T., Zhang, M., Wan, S., Luo, S., Liu, J., Deng, X., 2018. Development of duplex fluorescence-based loop-mediated isothermal amplification assay for detection of *Mycoplasma bovis* and bovine herpes virus 1. *J. Virol. Methods* 261, 132–138. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2018.08.014>.
- Mungthong, K., Khaing, S. T., Otsubo, T., Hatanaka, C., Yoneyama, S., Hisamatsu, S., Murakami, H., & Tsukamoto, K. (2021). Broad detection and quick differentiation of bovine viral diarrhoea viruses 1 and 2 by a reverse transcription loop-mediated isothermal amplification test. *Journal of Veterinary Medical Science*, 83(8), 1321-1329. <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0742>.
- Notomi, T., 2000. Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Res.* 28 (12),e63.
- Notomi, T., Mori, Y., Tomita, N., Kanda, H., 2015. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): principle, features, and future prospects. *J. Microbiol.* 53 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12275-015-4656-9>.
- Oyhenart, J., & Morero, M. (2022). Field detection of *trichomonas foetus* through loop mediated isothermal amplification with CELDA. *Archives of Microbiology*, 204(3). <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02777-1>.
- Pacce, V. D., Souza, M. N., De Oliveira, N. R., Kremer, F. S., Jorge, S., Ikuta, N., Lunge, V. R., & Dellagostin, O. A. (2022). Polymerase chain reaction and loop-mediated isothermal amplification targeting LIC13162, LIC20239, and LIPL32 genes for leptospirosis diagnosis. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53(2), 1029-1037. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00698-1>
- Sayers RG. 2017. Associations between exposure to bovine herpesvirus 1 (BoHV-1) and milk production, reproductive performance, and mortality in Irish dairy herds. *J of Dairy Sci.* 100(2):1340-1352. Doi: 10.3168/jds.2016-11113
- Shi Y., Xu M., Duan X., Li S., Ding J. W., and Chen L. (2021). WarmStart colorimetric loop-mediated isothermal amplification for the one-tube, contamination-free and visualization detection of *Shigella flexneri*. *International Journal of Infectious Diseases*, 112, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.09.015>.
- Socha, W., Rola, J., Urban-Chmiel, R., Zmudzinski, J.F., (2017). Application of LoopMediated Isothermal Amplification (LAMP) assays for the detection of bovine

herpesvirus 1. *Pol. J. Vet. Sci.* 20 (3), 619–622. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2017-0078>.

Wei, C., Shan, K. J., Wang, W., Zhang, S., Huan, Q., & Qian, W. (2021). Evidence for a mouse origin of the SARS-CoV-2 Omicron variant. *Journal of genetics and genomics*, 48(12), 1111-1121. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2021.12.003>

Capítulo 17

Microorganismos endémicos involucrados en el proceso de elaboración del bacanora

Luis Alberto Cira Chávez

Laura Elisa Gassos Ortega

Sergio de los Santos Villalobos

Maria Isabel Estrada Alvarado

Resumen

En México la producción de bebidas de destilados de agave es importante, entre los que se encontramos al tequila, mezcal y bacanora. El bacanora es una bebida con Denominación de Origen, que se produce en 35 municipios de Sonora. Se elabora con *Agave angustifolia* Haw. (mayoritariamente silvestre). Debido a la diversidad de la materia prima, las condiciones geográficas y climáticas bajo las cuales se elabora, es factible que intervenga una microbiota variada, por lo que se desarrollen dinámicas microbianas distintas, lo que le confiere características de sabor y aroma diferente esta bebida, por lo que el objetivo de este trabajo fue estudiar a los microorganismos endémicos involucrados en el proceso de obtención de bacanora de mostos de fermentación, las velocidades de crecimiento la cepa X1 y X2 fueron 0.2535 h^{-1} , 0.2318 h^{-1} respectivamente, mientras que para la cepa X3 fue de 0.1052 h^{-1} . Así, el consumo de azúcares reductores presentaron una mayor velocidad de consumo, lo que indicaría que existe una dinámica entre ellos para la producción de diversos compuestos aromáticos. La presencia de diversos microorganismos endémicos en los mostos de los procesos de fermentación, refleja la diversidad de los microorganismos de una región determinada lo que daría como resultado un producto único y característico.

Palabras clave: Microorganismos endémicos, bacanora, fermentación

Introducción

Desde épocas remotas las plantas de agave o de maguey, como se les llama comúnmente en México, han representado una importante fuente de alimentos, fibra, medicamentos y bebidas para las culturas prehispánicas de América del Norte. El aprovechamiento de estas plantas fue de vital importancia para los grupos indígenas asentados en las zonas semiáridas del México antiguo, en lo que actualmente es el Noroeste de México y Sudoeste de Estados Unidos (García, 2002).

Las bebidas mexicanas derivadas del agave se clasifican en dos grandes grupos (Salazar, 2007): las que se producen a partir de la extracción de azúcares, luego del raspado del tallo (aguamiel y pulque), y aquellas que provienen del cocimiento de las cabezas, tallos y hojas para obtener bebidas destiladas conocidas genéricamente como mezcal que se distinguen, entre otros aspectos, según la región de procedencia, especie o variedad de agave utilizado, técnicas para su procesamiento, métodos de maduración, etc. Así como el bacanora en Sonora, al mezcal se le conoce como comiteco en Chiapas; tequila en Jalisco; raicilla en la región costera de Jalisco, el oeste de Michoacán y Nayarit; tuxca y quitupán en Colima, entre otros.

El *Agave angustifolia* Haw o *Agave pacifica* Trel, actualmente conocido como *Agave vivipara* L., es el único autorizado para la elaboración de bacanora (Gentry, 1982). Los detalles comparativos y distintivos de la elaboración del bacanora han sido descritos por Gutiérrez-Coronado *et al.* (2007) y conviene destacar tres: a) Cocimiento en hornos cerrados, a diferencia de los hornos abiertos del mezcal y de los autoclaves a presión del tequila, b) Fermentación silvestre con los trozos horneados de las piñas, a diferencia de la fermentación de los caldos en el mezcal o el tequila, c) Bidestilación y combinación artesanal de las fracciones bidestiladas, a diferencia de la destilación en una sola etapa y posible rectificación de los licores en las industrias del mezcal y del tequila.

El bacanora es una bebida con Denominación de Origen, que se produce solamente en 35 municipios de Sonora. Se elabora con *Agave angustifolia* Haw (mayoritariamente silvestre). Debido a la diversidad de la materia prima, las condiciones geográficas y climáticas bajo las cuales se elabora, es factible que intervenga una microbiota variada, por lo que se desarrollen dinámicas microbianas distintas, lo que le confiere características de sabor y aroma diferentes estas bebidas. Este se vende con una graduación alcohólica en el intervalo entre 38° GL y 55° GL y a un precio superior al del tequila o del mezcal de Oaxaca. Esta diferencia de precios se atribuye a las características distintivas del bacanora, ya citadas, que podrían perderse si hubiera cambios del proceso artesanal, sin el conocimiento de los factores que determinan esas características, que pueden provenir de compuestos producidos en la cocción o la fermentación o que son seleccionados por la destilación y son percibidos como notas caramelizadas, florales y frutales, con diferentes intensidades; y otros como pungentes dulces y frescos (Pinal *et al.*, 1997; Cole *et al.*, & Noble, 2003).

Las levaduras que intervienen en la fermentación de bacanora están presentes en los residuos de la molienda, el manejo de las piñas, la adición de agua para la fermentación

y en los equipos reutilizados entre diversas corridas o tandas del proceso. Un estudio previo, demostró la presencia de levaduras de los géneros: *Saccharomyces*, *Kluyveromyces* y *Pichia* (Alvarez-Ainza *et al.*, 2009). Esta biodiversidad fue confirmada por Montaña *et al.* (2011). Álvarez-Ainza *et al.* (2015) demostraron una gran variabilidad cromosómica de las levaduras del género *Saccharomyces* aislados en 11 municipalidades de Sonora. Pero no hay estudios sobre los mecanismos de interacción entre los géneros y especies de esas levaduras, en relación con los productos secundarios de la fermentación, aunque es bien sabido que el aroma y sabor de las bebidas alcohólicas (cerveza, vino, tequila y bacanora, entre otras), son el resultado de numerosos compuestos volátiles, cuya mezcla compleja se relaciona con la aceptación del consumidor (López, 1999; Vallejo y Gonzalez, 1999; Cole y Noble, 2003). En el bacanora hay compuestos volátiles en concentraciones relativamente altas (volátiles mayoritarios), principalmente metanol, acetaldehído y alcoholes superiores (Lachenmeier *et al.*, 2006; De León *et al.*, 2006) que además de contribuir al perfil organoléptico, también pueden ser un problema porque en exceso no estarían conformes con la norma del producto. Además, contienen volátiles en concentraciones bajas (volátiles minoritarios), como: ésteres, aldehídos superiores, cetonas, ácidos, furanos y terpenos (López, 1999; de León-Rodríguez *et al.*, 2006) que también contribuyen al aroma de la bebida.

Por su parte, el exceso de etanol en el medio inhibe el transporte de aminoácidos y glucosa hacia el interior de las células y esto puede asociarse a cambios en la composición lipídica de las membranas que podrían modificar su fluidez y afectar su metabolismo (Soumalainen *et al.*, 1979). Además, se sabe que distintos géneros de levaduras presentes en estas fermentaciones, tienen diferencias notables en su tolerancia al etanol e involucran a especies tan variadas como *Saccharomyces cerevisiae*, *Issatchenkia orientalis*, *Kluyveromyces marxianus* y *Pichia anómala*.

Objetivo

Estudiar a los microorganismos endémicos involucrados en el proceso de obtención de bacanora de mostos de fermentación.

Método

Se muestreó el mosto (Figura 1), a los ocho días de fermentación, de la vinata de Sonora. Las muestras fueron conservadas a 4°C.

Figura 1

Mostos de fermentación



Se realizaron diluciones seriadas de los mostos de fermentación, se sembraron las distintas diluciones en los medios de cultivo: agar nutritivo, medio MRS, agar nutritivo Wallerstein (WL) y se incubaron a 28 °C hasta su aislamiento. Se realizó la caracterización morfológica de los aislados.

Se utilizó como sustrato jugo de *Agave Angustifolia* Haw, a partir de un lote de cultivo, con edad de madurez 10 ± 2 años, ubicado en el Municipio de Álamos, Sonora, el cual fue previamente cocido por 16 horas a una temperatura de 100°C. El sustrato fue filtrado y congelado hasta su posterior uso.

Para la formulación del medio de cultivo el jugo de agave hidrolizado fue sometido a filtración. Se ajustó la concentración de azúcares en escala de grados Brix (°Brix) mediante un refractómetro digital marca Refractómetro [Pal-1 (Atago) Japón], para después adicionar en solución fosfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ y sulfato de magnesio (MgSO_4) previamente preparados y esterilizados (Tabla 1).

Tabla 1

Composición de medio con jugo de agave ajustado a 100 g/L de azúcares

Compuesto	Cantidad (g/L)
Fosfato de amonio	0.5
Sulfato de magnesio	0.1

Cinética de crecimiento

A partir de las levaduras endémicas aisladas, se inoculó en el medio de cultivo a base de *Agave angustifolia* Haw. estéril a una concentración de azúcares de 12° Bx. Este proceso se llevó a cabo por triplicado con cada una de las levaduras seleccionadas. Posteriormente, se realizó la determinación de azúcares reductores totales (ART) por el método ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS), para monitorear la fermentación llevando a cabo la metodología descrita por Miller (1959). Brevemente una alícuota de 100 µL de una dilución de la muestra y 100 µL de reactivo DNS fueron homogeneizadas en un microtubo y se llevó a baño maría durante 15 min. Transcurrido el tiempo se llevó a enfriar en un baño de hielo por 15 min. Una vez frío se le agregó 1 mL de agua destilada a la mezcla y se midió la absorbancia a 540 nm en un lector de microplacas [680 XR (Bio-Rad) California, Estados Unidos].

Resultados

Bajo las condiciones de cultivo, se obtuvieron diferentes morfologías, en forma, tamaño, elevación, borde, color como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

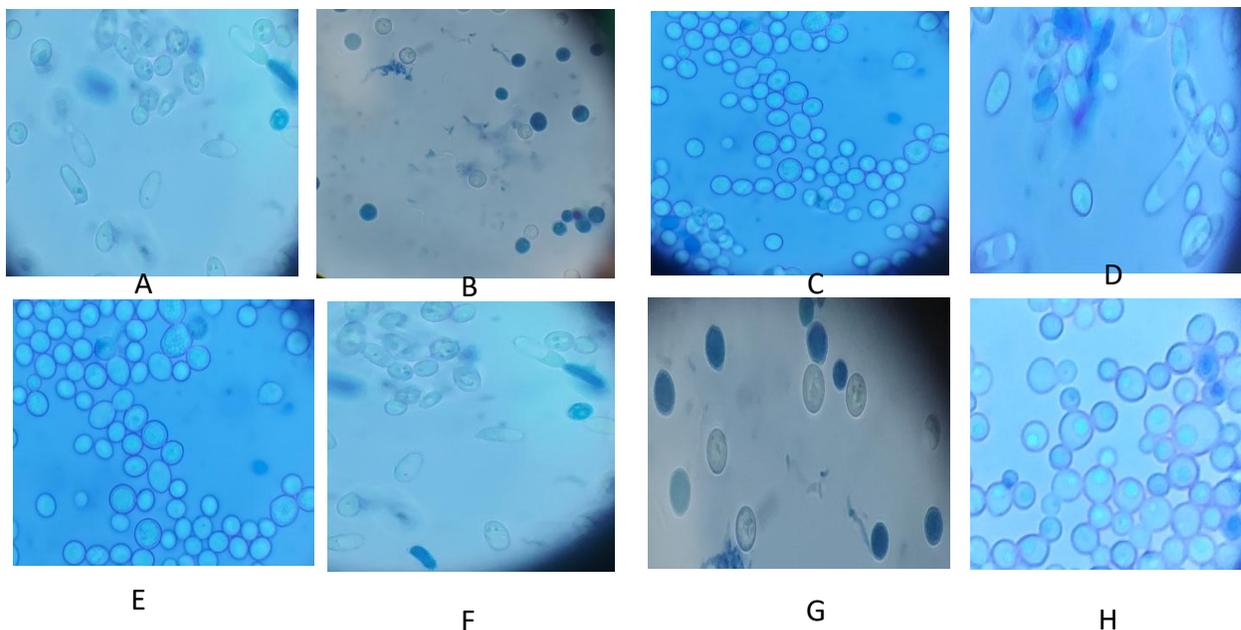
Morfología de los microorganismos aislados de mostos de fermentación en el proceso de bacanora



Los resultados mostraron una gran diversidad de levaduras lo que confiere las características organolépticas distintivas a esta bebida, como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Microorganismos aislados de mostos de fermentación en el proceso de elaboración del bacanora con denominación de origen



Nota: A) cepa 1; B) cepa 2; C) cepa 3; D) cepa 4; E) cepa 5; F) cepa 6 G) cepa 7, H) cepa 8.

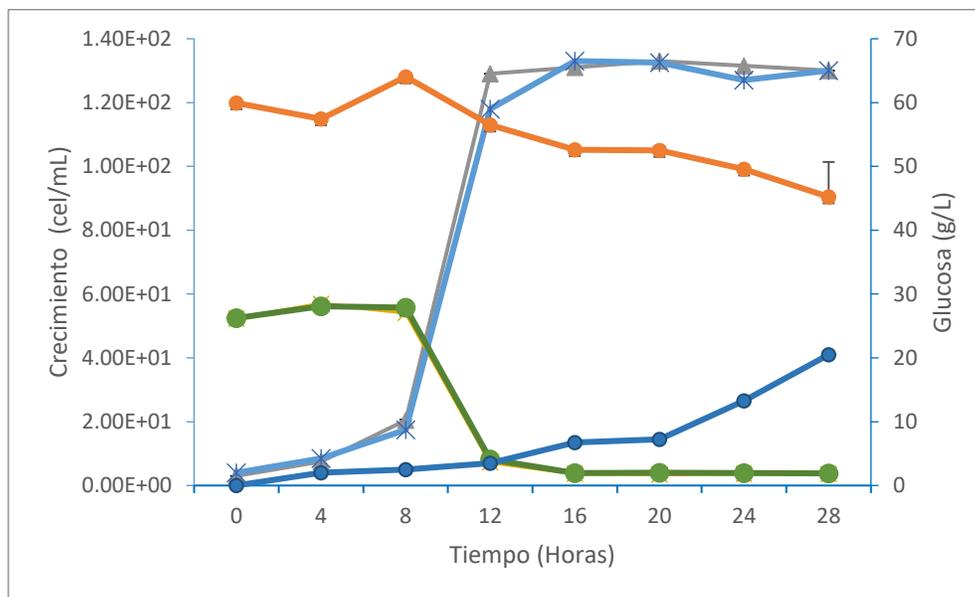
Saccharomyces cerevisiae es la especie de levadura que principalmente produce alcohol en la fermentación. Además de levaduras de este género, algunas coinciden con las no-*Saccharomyces*: *Issatchenkia orientalis*, *Kluyveromyces marxianus* var. *Drosophilarum* y *Pichia anómala* en el proceso. Dichos microorganismos ya han sido reportados por varios autores (Escalante *et al.*, 2008; Andrade *et al.*, 2004; Soto *et al.*, 2009; Segura, 2010) como parte de la microbiota del proceso de elaboración de bebidas alcohólicas como vino, tequila y mezcal.

Cinéticas de crecimiento

En la Figura 4 se muestra la cinética de consumo de azúcares reductores de las levaduras estudiadas en los mostos de *Agave angustifolia* Haw. Donde el consumo de azúcares reductores es mayor en las cepas X1 y X2, mientras que la cepa X3 su consumo fue menor por lo que se obtuvo un menor crecimiento, llegando a obtener $4 \cdot 10^1$ células por mL.

Figura 4

*Cinéticas de crecimiento y consumo de sustrato (X1 ▲, X2 * , X3 ●)
consumo de azúcares reductores (X1 ●, X2 ●, X3 ●)*



La concentración excesiva de hidratos de carbono en forma de monosacáridos y disacáridos puede frenar la actividad microbiana, por tal razón es que se inició la fermentación con jugo de agave diluido a una concentración de 100 g/L, que resulta adecuado para las levaduras de estos procesos fermentativos. De la misma forma la baja concentración puede frenar el proceso. Las concentraciones límite dependen del tipo de azúcar, así como de la levadura responsable de la fermentación (Kent, 2003).

En la Tabla 2 se observa que la velocidad específica de crecimiento y la velocidad de consumo de sustrato, las cepas X1 y X2 tuvieron una mayor velocidad de consumo de sustrato que la cepa X3.

Si bien, las levaduras, la cual tendrá una producción más rápida de biomasa, pero no necesariamente una mayor producción de etanol. Es ya bien conocido que el tipo de levaduras juega un importante papel en la formación de etanol y compuestos volátiles durante la fermentación de bebidas alcohólicas.

Tabla 2

Velocidad de crecimiento y consumo de sustrato para cepas endémicas de mostos de fermentación

Cepa	Velocidad de crecimiento	Velocidad de consumo de sustrato
X1	0.2535 h ⁻¹	5.10 g/L*h
X2	0.2318 h ⁻¹	5.16 g/L*h
X3	0.1052 h ⁻¹	0.6383 g/L*h

Conclusiones

Se obtuvieron diversos microorganismos endémicos presente en los mostos de los procesos de fermentación, lo que refleja la diversidad de los microorganismos de una región determinada lo que daría como resultado un producto único. Por lo que abre la posibilidad de utilizar los microorganismos aislados y caracterizados en otros procesos biotecnológicos.

Agradecimientos

Agradecemos el financiamiento a PROFAPI 2023 del Instituto Tecnológico de Sonora y al CONAHCYT el proyecto A1-S-45495.

Referencias

- Álvarez, A. M., González, R. H., González, L. A., Ojeda, C. A. J., Valenzuela, Q. A. I., & Acedo, F. E. (2013). Quantification of mayor volatile compounds from artisanal agave distilled: Bacanora. *American Journal of analytical chemistry*, 4(11), 683.
- Álvarez-Ainza, M., Zamora-Quiñonez, A., & Acedo-Félix, E. (2009). Perspectivas para el uso de levaduras nativas durante la elaboración de bacanora. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 51(1-2), 58-63.
- Álvarez-Ainza, M. L., Zamora-Quiñonez, K. A., Moreno-Ibarra, G. M., & Acedo-Félix, E. (2015). Genomic diversity of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts associated with alcoholic fermentation of Bacanora produced by artisanal methods. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 175(5), 2668.
- Álvarez A. M., Galaz G. A., González R. H., Prado J. N., Acedo F. E. (2015). Análisis sensorial y compuestos volátiles minoritarios en destilado de *Agave angustifolia* Haw (Bacanora). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 17(3).
- Andrade-Menenses, O. E., & F. Ruiz-Teran. (2004). "Study of yeast populations in amescal fermentation." Poster PF 17, p.157. 11th International Congress on Yeast. Yeasts in Science and Technology, The quest for Sustainable Development. Rio de Janeiro, Brazil. from *Agromyces indicus*: Enhanced Production, Characterization, and Optimization. *Polymers*, 14(19), 3982.
- Cole, V., & Noble, A. (2003). Flavor chemistry In Fermented beverage production. A G H Lea, J R Piggott (eds). Kluwer Academic/Plenum Publisher, New York. pp.393-396.
- De Leon-Rodriguez, A., L. Gonzalez-Hernandez, A. P. Barba De La Rosa, P. Escalante Minakata & M. G. Lopez (2006) "Characterization of Volatile Compounds of Mezcal, an Ethnic Alcoholic Beverage Obtained from *Agave salmiana*." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 1337-1341.
- Escalante-Minakada, P., Blaschek, H.P., Barba de la Rosa, A.P., Santos, L., & de León-Rodríguez, A. (2008). Identification of yeast and bacteria involved in the mezcal fermentation of *Agave salmiana*. L. *Applied Microbiology*, 46 (6) 626-630.
- Moorkoth, D., & Nampoothiri, K. M. (2016). Production and characterization of poly (3-hydroxy butyrate-co-3 hydroxyvalerate)(PHBV) by a novel halotolerant mangrove isolate. *Bioresource technology*, 201, 253-260.
- Garcia-Mendoza, A. (2002). Distribution of agave (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal*, 74, 177-187.

- Gentry, H. S. (1982). Agaves of continental North America. pp 670-679. The University of Arizona Press. USA.
- Goossens, K. & Willaert, R. (2010). Flocculation protein structure and cell-cell adhesion mechanism in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Lett*, 32(11):1571-85.
- Lachenmeier, D. W., Sohnius, E. M., Attig, R., & López, M. G. (2006). Quantification of selected volatile constituents and anions in Mexican Agave spirits (Tequila, Mezcal, Sotol, Bacanora). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 3911- 3915.
- López, M. (1999). *Tequila aroma in flavor chemistry of ethnic foods*. F shahidi, Ch Ho (eds). Kluwer Academic/Plenum Publisher. 211-217.
- Martín del Campo, S.T. (1998). *Validación de un método analítico para la determinación de compuestos volátiles en el tequila*. Tesis de maestría en ciencias en procesos biotecnológicos. Universidad de Guadalajara. CUCEI.
- Montaño, J., Cira, L., Díaz, D., Estarrón, M., Tavares, O., & Estrada, M. (2011). *Characterization of volatile compounds produced by wild yeast in bacanora fermentation process*. 1st Internat. Symp. Agave. MX.
- Mota, A., Novák, P., Macieira, F, & Núñez, L. (2001). *La producción de mezcal bacanora: una oportunidad económica para Sonora*. CIAD, AC
- Whitehead, N. A., Barnard, A. M., Slater, H., Simpson, N. J., & Salmond, G. P. (2001). Quorum-sensing in Gram-negative bacteria. *FEMS microbiology reviews*, 25(4), 365-404.
- Pinal, L. (1997). Fermentation parameters influencing higher alcohol production in the tequila process. *Biotchnol. Lett*, 19:45-47.
- Salazar, V. (2007). "La industria del bacanora. Historia y tradición de resistencia en la sierra sonorense" en región y sociedad. *Revista de El Colegio de Sonora*, 19 (39) 05-133.
- Segura-García, L. (2010). *Identificación y caracterización por métodos moleculares de levaduras aisladas del proceso de elaboración del mezcal en el Estado de Oaxaca*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco.
- Soto-García, E., Rutiaga-Quiñones, M., López-Miranda, J., Montoya-Ayón, L., & Soto-Cruz, O. (2009). Effect of fermentation temperature and must processing on process productivity and product quality in mescal fermentation. *Food Control*, 20(3), 307-309.
- Suomalainen, H., & Lehtonen, M. (1979). The production of aroma compounds by yeast. *Journal of the Institute of Brewing*, 85(3), 149-156.

Vallejo-Córdoba, B., & González-Córdova, A. F. (2007). *Latest advances in the chemical and flavor characterization of Mexican distilled beverages: Tequila, Mezcal, Bacanora, and Sotol* en Tunick, M. & Gonzalez, E. (Ed. Sociedad Química estadounidense) vol. 946, 53-166 DOI: 10.1021/bk-2007-0946.ch013

Capítulo 18

Sistema de monitoreo remoto para el área de andenes

Erica Cecilia Ruiz Ibarra

Adolfo Espinoza Ruiz

Griselda Gonzalez Diaz Conti

Pablo Alberto Limón Leyva

Resumen

Las empresas manufactureras requieren de un área almacén, donde se guardan los insumos de producción, así como los productos terminados para distribuirlos a los clientes. En el proceso de carga y descarga de la mercancía en las plataformas logísticas o almacenes, existen infinidad de factores de riesgo de distinta gravedad que pueden afectar a los operarios de los muelles y a los conductores de vehículos y de transporte de la mercancía. En este sentido, este trabajo describe un sistema de monitoreo y control de andenes a través de Internet de las cosas para empresas manufactureras, con la finalidad de evitar accidentes en el área de almacén durante el embarque y desembarque de materia prima. El proyecto consta de tres módulos: monitoreo para detectar eventos de apertura y cierre de andenes, sistema de comunicación que transmite a la nube (Base de datos) los eventos ocurridos en el área de andenes, y por último una interfaz gráfica para mostrar las estadísticas del histórico de los eventos ocurridos, así como la activación de alarmas en tiempo real, y las causas que originaron dichas incidencias, con la finalidad de contar con la información necesaria para la oportuna toma de decisiones. Se implementó un sistema de semaforización para controlar el acceso al almacén y se agregó una alarma sonora y visual. Además, se desarrolló una interfaz para PC y dispositivos móviles, los datos son almacenados en una base de datos que muestra la información en tiempo real, lo que permite tomar decisiones oportunas. La aplicación móvil muestra el tiempo de apertura, el número de veces que se abrió el andén y que sonaron las alarmas en un período de una semana, reduciendo el tiempo de asistencia de personal a menos de 3 minutos, y reduciendo en un 70% los accidentes ocurridos en el área de almacén.

Palabras clave: Seguridad de andenes, monitoreo remoto, internet of thing, base de datos.

Introducción

Las industrias manufactureras tienen un área encargada de la distribución del material elaborado dentro de la misma, así como el área de almacén que recibe toda la materia prima necesaria para la producción. En estas áreas constantemente entran y salen camiones para la carga y descarga de material, los cuales siguen un procedimiento para

evitar accidentes. Acorde con entrevistas a empresas manufacturas de la región, en promedio reciben nueve cajas de camiones para carga y descarga, aunque esto varia debido a la demanda que se tenga de trabajo. Con esta cantidad de material descargado se incrementa el tráfico de los montacargas y de las cajas de camiones, por lo que es imperante la seguridad en la sección de distribución, ya que un descuido podría ocasionar accidentes, pérdida de material e incluso cobrar vidas. Ante esta situación se plantea el siguiente problema. ¿Cómo prevenir accidentes en el área de distribución durante la carga y descarga de material de los camiones de transporte?, específicamente ¿Cómo notificar al conductor del camión y al operador del montacargas que se ha concluido el proceso de carga y/o descarga para proceder a mover el camión sin que el montacargas se vea en peligro de presentar un accidente? ¿Cómo registrar de manera automática y en tiempo real los accidentes ocurridos y las condiciones bajo las cuales suceden?. Para las empresas, la seguridad es primordial y evitar accidentes es su prioridad, por lo que el proyecto se enfoca en diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto IoT (Internet of Thing) para el control de acceso al área de carga / descarga, con la finalidad de evitar accidentes en la empresa y llevar un registro de los eventos ocurridos para la toma oportuna de decisiones.

El desarrollo de este sistema de semaforización automático permite evitar accidentes en el área de carga y descarga, además de una mejor administración en cuanto al tiempo que demora el proceso de importación y exportación de material para la fabricación de arneses, al utilizar la información que proporciona la base de datos. En caso de no llevarse a cabo la automatización del sistema no se podrá garantizar ejecutar el proceso mencionado anteriormente en 45 minutos lo que puede provocar demoras en el mismo, además de que el personal administrativo no podrá actuar en consecuencia para la mejora del proceso, provocando pérdidas económicas a la empresa.

Según Encinas et al, (2018) gracias a la miniaturización de los dispositivos, la reducción en costo de éstos, y al avance en las comunicaciones, es posible agregar inteligencia a los objetos, los cuales pueden sentir el estado físico de las cosas y procesar la información para responder inmediatamente a los cambios en el mundo real, a través de acciones que ayudan a controlar el entorno de manera remota. Los objetos inteligentes toman conciencia del contexto y pueden detectar eventos o fenómenos físicos, comunicarse, interactuar, intercambiar datos, información y conocimiento (Ismail & Kadhim, 2024) (OdeH & Ishaq, 2024). Esto se logra equipando a los objetos comunes con dispositivos de detección, identificación, posicionamiento, procesamiento y actuación, además de proveerlos de acceso a internet para que sean capaces de interactuar no sólo

con otros objetos inteligentes sino también con seres humanos. Por otro lado, a través de algoritmos de inteligencia artificial, tales como redes neuronales o lógica fuzzy por mencionar algunos, es posible procesar la información recolectada, e inferir otra información útil en la toma de decisiones que permitan dar respuesta rápida y apropiada a los fenómenos físicos, basados en la información recopilada más reciente sobre entidades físicas y la consideración de patrones en los datos históricos, ya sea para la misma entidad o entidades similares (Yazici et. al 2023). Para desarrollar sistemas IoT se requieren de sistemas embebidos, el cual se define como un sistema cuya función principal no es computacional, pero es controlado por un computador integrado (Falas, et. al 2022) Este computador puede ser un microcontrolador o un microprocesador. La palabra embebido implica que se encuentra dentro del sistema general, oculto a la vista, y forma parte de un todo de mayores dimensiones”. (Radovici & Culic, 2022). La arquitectura de un sistema embebido se puede generalizar en tres capas principales:

1. Software de aplicación: Es un programa o grupo de programas diseñados para usuarios finales.
2. Sistema operativo: Realizan tareas básicas, como reconocer las entradas, conectar las salidas con sus correspondientes terminales, hacer un seguimiento de los archivos y directorios en las unidades de almacenamiento y controlar los dispositivos periféricos.
3. Hardware: Se refiere a las partes físicas de una computadora y dispositivos relacionados. Los dispositivos internos (componentes) incluyen placas base, discos duros y memoria RAM. Los dispositivos externos (periféricos) incluyen monitores, teclados, mouse, sensores y actuadores.

Es importante resaltar que el software que se ejecuta en un sistema embebido es diseñado bajo algunas restricciones importantes: (i) cantidades pequeñas de memoria, generalmente en el orden de los KB, (ii) capacidades limitadas de procesamiento, generalmente los procesadores poseen velocidades que no superan los MHz, (iii) la necesidad de limitar el consumo de energía en cualquier instante bien sea en estado de ejecución o no.

Objetivo

Ante la problemática definida en la introducción, el presente trabajo plantea como objetivo: Diseñar e implementar un sistema IoT (Internet of Thing) para el control de acceso al área de carga / descarga con capacidad de monitorear de manera remota la actividad dentro de dicha área, con la finalidad de evitar accidentes en la empresa y llevar un registro de los eventos ocurridos para la toma oportuna de decisiones.

Objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de semaforización automática a través de un sistema embebido para detectar eventos de apertura y cierre de andenes, con la finalidad de evitar accidentes.
- Diseñar e implementar un sistema de comunicaciones basado en Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), que permita transmitir y almacenar la ocurrencia de eventos en el área de andenes, para la toma oportuna de decisiones.
- Desarrollar una interface gráfica a través de una aplicación móvil y de escritorio con la finalidad de visualizar el histórico de los eventos ocurridos en andén, así como procesar la información recolectada para la toma oportuna de decisiones que impacten en la seguridad del área de PDC.

Método

Este trabajo se desarrolló en una empresa manufacturera del sur de Sonora, es un estudio de tipo experimental, para resolver la problemática planteada se utilizó el método ingenieril de (Koen, 2000). El método ingenieril se fundamenta en el aprendizaje y el pensamiento creativo y se basa en la detección de necesidades, diseño de productos, implementación del diseño y evaluación de resultados. La Figura 1 presenta la metodología utilizada en este trabajo, la cual consistió en tres etapas: Diseño, Implementación y Pruebas. Primeramente, se definió el proyecto y los requerimientos del sistema por parte del cliente, en seguida se realizó un análisis de proveedores y materiales para desarrollar los tres módulos: monitoreo, sistema de comunicación y la interface gráfica. Enseguida se llevó a cabo el diseño de cada uno de los módulos, se implementó primero a nivel simulación utilizando la herramienta proteus, y posteriormente se implementó el prototipo. Para validar la propuesta se realizaron pruebas en la empresa y se recopiló información para su análisis y corrección en diseño cuando fue necesario. Por último, se documentó el proyecto.

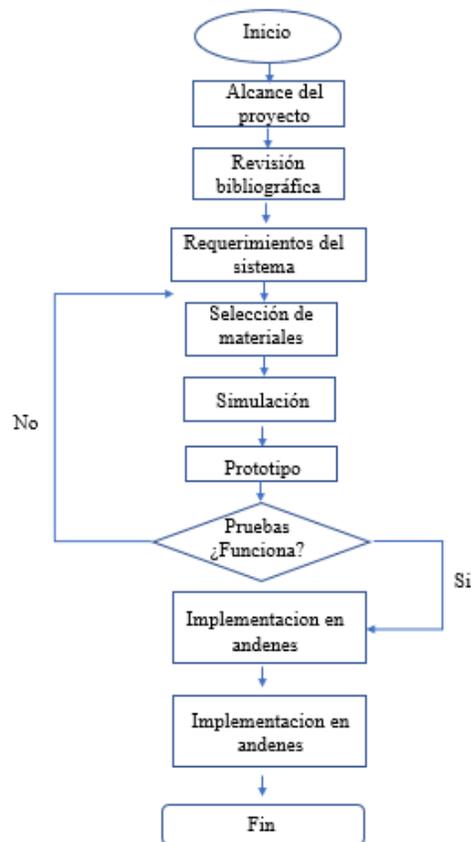
El sistema propuesto incluye tres módulos:

- *Sistema de monitoreo embebido* para detectar eventos de apertura y cierre de andenes.
- *Sistema de comunicación* el cual transmite a la nube (Base de datos) la ocurrencia de eventos en del área de andenes, se especifica las alarmas activadas y las causas que lo provocaron con su respectiva fecha y hora, para visualizarlos de manera remota desde un dispositivo de escritorio o móvil. Además, se generan estadísticas de las incidencias registradas.

- *Interfaz gráfica.* Este módulo se implementa para una PC de escritorio y para dispositivos móviles. En estas interfaces se muestran las estadísticas del histórico de los eventos ocurridos, así como la activación de alarmas en tiempo real, y las causas que originaron dichas incidencias, con la finalidad de contar con la información necesaria para la oportuna toma de decisiones.

Figura 1

Diagrama de procedimiento



Como en toda propuesta existen requerimientos estipulados por el cliente los cuales se describen a continuación:

1. Se requiere un sistema de monitoreo automático de andenes que asegure el cumplimiento de las normas de seguridad por parte del operador de la caja del tráiler, el operador del montacargas y que considere el estado de las puertas del andén.

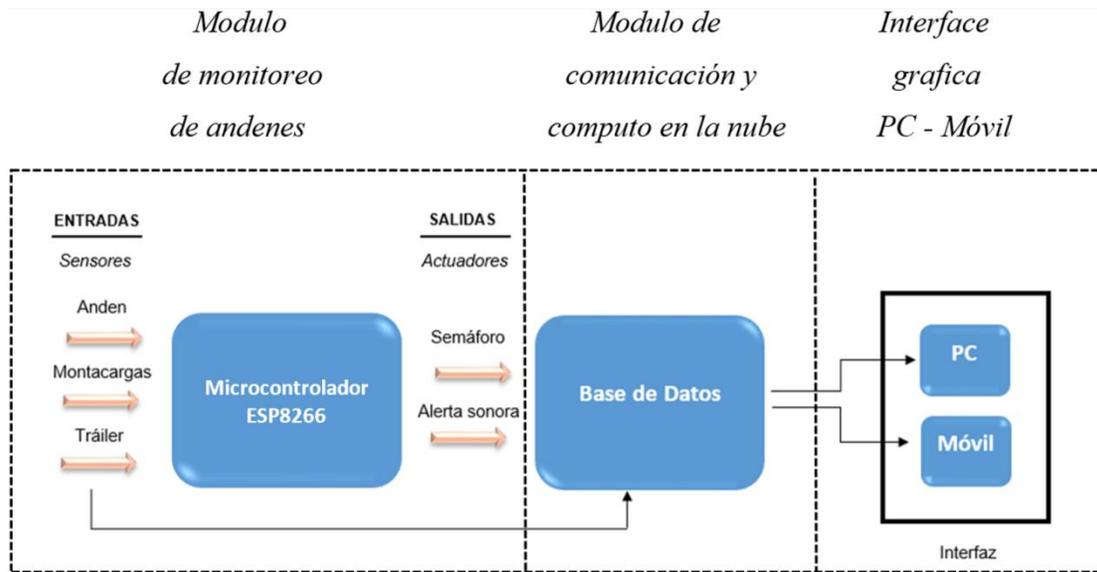
- Las puertas del andén se abrirán hasta que la caja del tráiler esté bien pegada al andén, los frenos de llantas estén bien posicionados y el candado de la línea de aire esté activado.
- El montacargas podrá acceder a la caja del tráiler siempre y cuando el andén esté completamente abierto y la caja del tráiler correctamente posicionada y satisfaga las condiciones anteriores.
- El sistema debe evitar accidentes en los andenes en tiempo real generando alertas o alarmas en situaciones tales como:
 - Despegue de una caja cuando se está cargando o descargando.
 - El montacargas golpee el andén.
- El sistema debe contar con algún sistema de paro por alguna emergencia.

Diseño del sistema

Con la finalidad de satisfacer los requerimientos del cliente, el sistema propuesto consta de tres módulos tal como se muestra en la Figura 2: sistema de monitoreo de entradas y salidas del andén (sistema de semaforización (Melena, 2016), el cual satisface el requerimiento 1, sistema de comunicación y cómputo en la nube, que transmite la ocurrencia de eventos en el andén a un servidor en internet y registra en una base de datos dichos eventos y finalmente, una interface gráfica que presenta el historial de los datos en una aplicación de escritorio y otra aplicación móvil. A continuación, en la Figura 2, se describe a detalle cada uno de los módulos.

Figura 2

Sistema IoT de seguridad de andenes



Etapa 1: Este sistema monitorea el estado de tres puntos claves: la caja del tráiler, el montacarga, el estado del andén y estado de emergencia.

- **Caja del tráiler.** En este caso se asegura que se cumplan tres condiciones:
 1. **Posicionamiento de la caja.** Como norma de seguridad se debe de colocar la caja exactamente en el andén sin dejar ningún tipo de espacio, para esto se emplea un sensor ultrasónico que verifica la posición correcta de la caja. El sensor ultrasónico rebota ondas cuando llega a su límite de proximidad y manda su señal para poder ser detectado.
 2. **Frenado de las llantas.** Para bloquear las llantas de la caja del tráiler se utiliza un tope denominado tacón de llanta para que ésta no se pueda mover fácilmente, en este caso se utilizó un sensor de cierre de contacto, que al momento de estar físicamente bien colocado en la rueda del camión cierra contacto para generar una señal.
 3. **Bloqueo de la línea de aire:** Por último, se debe colocar un candado en las mangueras de aire de los frenos de la caja para evitar que el tráiler se mueva y se despegue del andén. Por otra parte, para asegurar que el candado está activado se empleó un sensor mecánico de cierre de contacto al igual que en los topes de llanta.
- **Montacargas:** La única condición bajo la cual el montacargas puede ingresar a la caja del tráiler es que la puerta del andén esté completamente abierta. En el montacargas se

coloca un sensor de movimiento que emite microondas que al detectar un objeto frente a él se activa y manda una alerta para detener la operación del montacargas. El sensor de microondas es alimentado a 12V y de manera general, al momento de que éste detecte movimiento en el área donde manda sus ondas, este cierra contacto y genera la señal adecuada.

- **Estado del andén:** Para identificar el estado del andén (abierto, cerrado, entre abierto o mal cerrado) se emplea dos sensores fotoeléctricos que mandan una luz láser que tiene que ir a un reflector que haga que rebote al mismo sensor. El sensor fotoeléctrico es alimentado por 12V y manda señal cuando la luz emitida es regresada por el reflector.
- **Estado de emergencia:** Por último, si se detecta cualquier anomalía se cuenta con un botón de paro de emergencia, el cual detiene de manera manual las operaciones que se estén realizando en el andén. Este botón abre el contacto al momento de oprimirlo y si mantiene clavado hasta que se da un giro para desenclavarlo, así al momento de oprimirlo manda una señal.

Los sensores empleados en los puntos clave mencionados permiten asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad y en caso de no satisfacer dichas condiciones se emiten alarmas para evitar accidentes. Para ello se requiere establecer ciertas condicionantes las cuales son definidas dentro de la lógica de un microcontrolador ESP8266 el cual tiene como entradas los sensores mencionados. A continuación, la Figura 3 presenta el diagrama de conexiones de los sensores al controlador ESP3266. Se utiliza una red de sensores que entrega valores lógicos digitales, es decir, se recibe “1” o “0”. Para ello se generó la Tabla 1 que muestra los estados del sistema. La lectura del estado de los sensores permite cumplir las condiciones vistas anteriormente y detectar violaciones de seguridad.

Figura 3

Diagrama de conexión de sensores a ESP8266

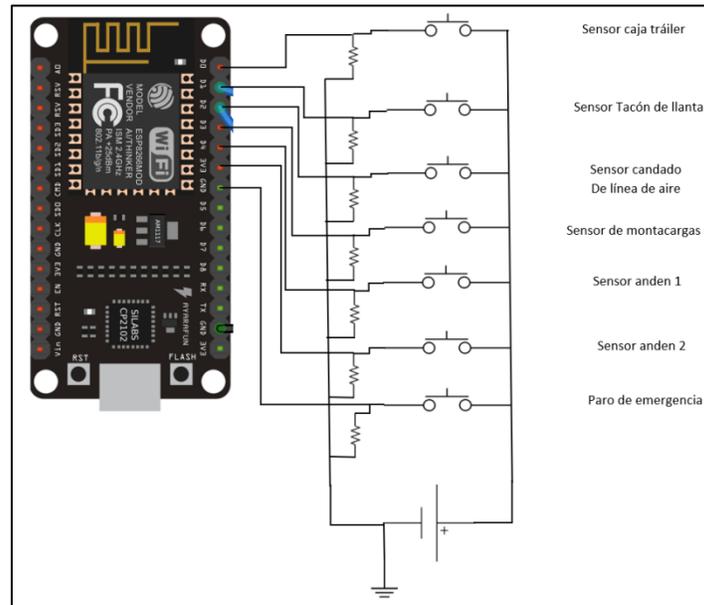


Tabla 1

Lectura de estados principales de los sensores

S1	S2	S3	S4	S5	S6	POSICIÓN
0	1	0	0	0	0	Cerrado
1	0	0	1	1	1	Abierto
0	0	0	1	1	1	Mal cerrado / Mal abierto

Nota: S1: Sensor superior de andén; S2: Sensor inferior de andén; S3: Sensor de detección de montacargas; S4: Sensor de detección de caja tráiler; S5: Sensor de candado para línea de aire de lá cajá trailer; S6: Sensor de tacones de detección de llanta de cajá tráiler.

Se realizó un sistema de semaforización con luces emergentes, rojo para indicar trabajo inseguro y verde trabajo seguro. Este sistema realiza el cambio de luz dependiendo de la posición de una puerta corrediza, sensada por transductores eléctricos cuyos datos se envían a un microcontrolador ARDUINO (Herrero, 2015), que controla el cambio de luces y una alarma que indica la violación a las reglas de control establecidas por las luces emergentes, y que se está laborando de manera insegura. La Tabla 2 describe los colores indicadores de los semáforos.

Tabla 2

Descripción de colores indicadores de semáforos

SEMÁFORO		DESCRIPCION	
Interno	Externo	Operador de montacargas.	Chofer operador de camión.
		No puede acceder al andén.	Es posible colocar o extraer camión del andén.
		Puede ingresar al andén para extraer o ingresar el camión.	No puede mover camión de ninguna forma.
		No puede acceder al andén.	No puede colocar o extraer camión del andén.
	 + 	Situación de riesgo o emergencia en el andén. Por lo tanto, no es posible continuar con la operación.	Situación de riesgo o emergencia en el andén. No es posible continuar con la operación.

Etapas 2: El sistema se comunica con dispositivos móviles y de escritorio para proporcionar información en tiempo real acerca de lo que está ocurriendo en dicha área de trabajo. La ocurrencia de eventos se registra en bases de datos para su consulta posterior a través de la interface gráfica. La base de datos se realizó en MySQL (Axarnet, 2024). Se crearon dos tablas: *Sensores* y *Sensor_data*, la primera lleva el control de los sensores y alertas registradas indicando la emergencia y ubicación del andén donde ocurrió el evento. La segunda tabla almacena los datos enviados desde el microcontrolador. Esto se realiza de manera remota por medio de servidores en línea, que en este caso se utilizaron los servicios de Node-red, MySQL y protocolo de MQTT. En el ESP8266 se crearon subrutinas para cada registro de emergencias, en este caso el dato enviado es un dígito de valor 1, indicando que se activó alguna alarma de emergencia que podría ser cualquiera de las cinco (Alarma de situación de emergencia, Alarma del montacargas, Alarma del Tráiler, Alarma del candado de aire y Alarma de posición del Tacón). Por su parte, la Tabla 3 muestra las condiciones en la que se puede encontrar el andén y el resultado del indicador del semáforo.

Tabla 3

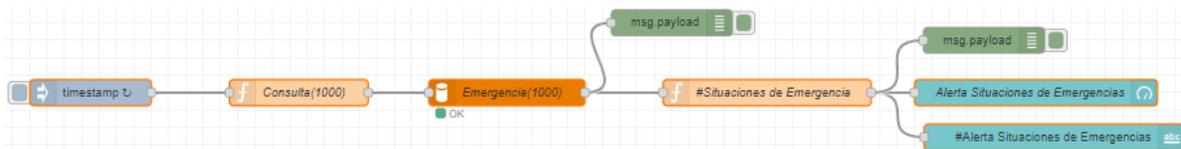
Condiciones de posición de andén

Posición del andén	Descripción de posición	Resultado de indicador.	
		Interior	Exterior
Cerrado	La cortina del andén se encuentra cerrada completamente hasta el tope del piso, con candados de seguridad para que no se regrese.	●	●
Abierto	La cortina del andén se encuentra abierta completamente hasta el tope superior, sobrepasando una línea de seguridad de color rojo.	●	●
Mal cerrado / Mal abierto	La cortina del andén se encuentra mal cerrada, no cumpliendo con llegar al tope límite inferior del piso / La cortina del andén se encuentra mal abierta, no cumpliendo con el sobrepaso de la línea roja de seguridad.	●	●

Etapa 3: Se diseña una interfaz gráfica para visualizar los datos almacenados utilizando los servicios de Node-Red. Con este software en línea se crea las diferentes pantallas para acceder a la información de manera gráfica y en formato de lista de texto, que contiene el registro de una semana para hacer un reporte de los incidentes. Para hacer la interfaz gráfica y mostrar los valores se toma el bloque gauge o chart depende de la imagen que quieras dar, en este caso se seleccionó Gauge para mayor comodidad visual y el bloque de *text* para ver el valor arrojado. La descripción de cada bloque es en orden al de la Figura 4.

Figura 4

Conexión de nodos o bloques en Node-Red

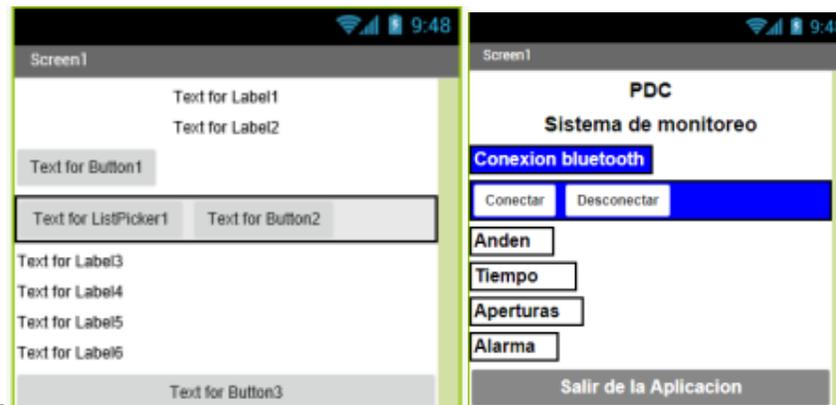


Para el desarrollo de una aplicación móvil se hizo uso de App Inventor, ya que no requiere una licencia. La pantalla principal (Figura 5) contiene los siguientes botones y etiquetas: conexión bluetooth conectar/desconectar, andén, tiempo, aperturas, alarma y salir de la aplicación. Al iniciar la aplicación, ésta enlaza directamente a la pantalla inicial

donde se encuentran todos los botones y etiquetas. Lo primero es visualizar el estado de conexión, para determinar si el dispositivo móvil está vinculado al *bluetooth* del Arduino. La función del monitoreo consta de visualizar los estados de las etiquetas que se muestran en la pantalla, ya sea del andén, para indicar en cual estas posicionado, en el tiempo, para saber cuál fue la diferencia de tiempo entre la apertura y cierre del andén que se esté visualizando al igual que las aperturas para llevar un control de veces que se abrió el andén en un periodo semanal.

Figura 5

Plantilla gráfica



Por su parte, el bloque de alarmas (Figura 6) permite contabilizar las veces que se activó una alarma en el andén indicado, ya sea, activado por un trabajo inseguro del montacargas o del tráiler, o también accionado por una alarma de emergencia total. Estas ventanas anteriores, permitirá al usuario del teléfono móvil, interrumpir cualquier actividad fuera de la aplicación, mientras se esté conectado a la interfaz del bluetooth.

Figura 6

Pantallas de alertas



Resultados

Se crea una base de datos llamada Sensores. La Figura 7 presenta la tabla creada con los registros del sensor, su descripción y ubicación.

Figura 7

Tabla de registro de los sensores

The screenshot shows a database management tool interface. On the left is a tree view of the database structure, including 'datasensor', 'dbproyecto', 'information_sche', 'mysql', 'performance_sch', 'phpmyadmin', 'proyectos', 'sensores', 'Nueva', 'sensores', 'sensor_data', and 'test'. The main area displays a table with the following data:

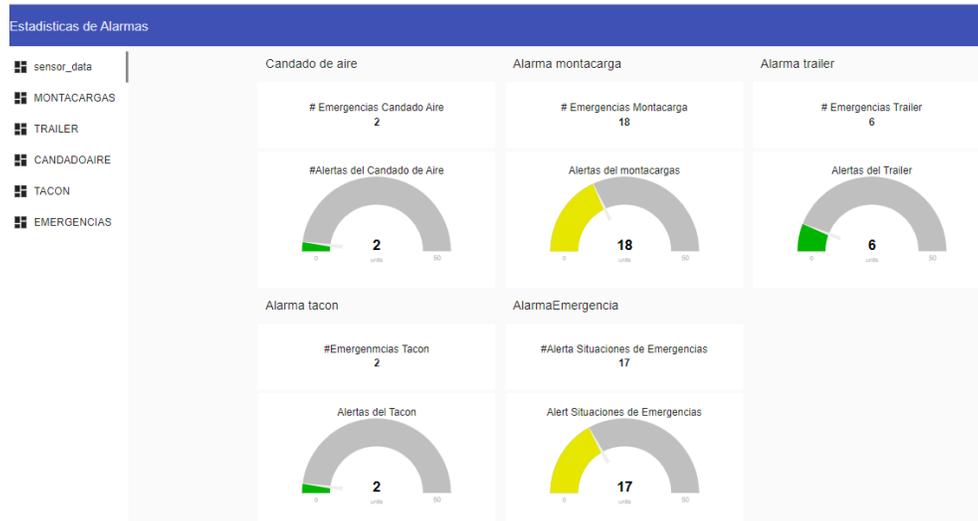
	ID_SENSOR	DESCRIPCION	UBICACION
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1000	Situacion de emergencia	Area andenes
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1011	Puerta abierta	Anden 1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1012	Puerta Cerrada	Anden1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1013	Alarma montacarga	Anden 1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1014	Alarma trailer	Anden 1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1015	Alarma candado de aire	Anden 1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1016	Alarma tacón	Anden 1

At the bottom of the table view, there are controls for 'Seleccionar todo' and actions for 'Editar' and 'Copia' for the selected elements.

La interface gráfica (Figura 8) presenta el registro diario ya que al hacer cambio de día y se registre un nuevo incidente en este se reinicia, pero si no se hace un registro nuevo este permanece.

Figura 8

Pantalla principal de interfaz gráfica



Discusión

Se cumplió con el objetivo planteado, por medio de la instalación de un sistema de semaforización se controló el acceso al área de surtido y recibo del almacén. Además, se creó un filtro sonoro que se activa si algún conductor no respeta la luz roja y acciona una alarma sonora y visual para que los altos mandos del área detengan el proceso y corrijan el error de manera más rápida.

Gracias a la interfaz desarrollada con la página web (Aplicación de PC) y la aplicación móvil, los datos son recopilados y almacenados en la base de datos generada para todo el sistema. La base de datos creada permite la actualización de información, aumenta la productividad ya que el fácil acceso a los datos es en tiempo real, además, ayuda a los usuarios a evaluar acontecimientos o percance que sucedieron en el andén y tomar decisiones oportunas al consultar la información a través de una página web.

La aplicación móvil fue un éxito ya que proporciona información de tiempo de apertura, número de veces que se abrió el andén, cuenta cuantas veces se abrió el andén y cuántas veces sonaron las alarmas dentro de un lapso de tiempo de una semana, de esta forma los encargados de esta área de la empresa pueden estar al tanto de la situación del andén y tomar alguna acción consecuente para la corrección de errores y mejoramiento de los procesos de seguridad. La aplicación desarrollada fue de la total satisfacción de los operarios en menor tiempo cuentan con la asistencia de personal de seguridad ya que la información de riesgo se transmite a los altos mando en tiempo real lo que repercute en la reducción del 70% de los accidentes ocurridos en el área de almacén.

Referencias

- Axarnet 2024. Cómo Crear una base de datos en MySQL (1 de Junio 2024).
<https://axarnet.es/blog/como-crear-base-de-datos-mysql>
- Encinas, C.R., Ruiz, E.C., Espinoza, A., Palacio, R.R., Cortez, J. García, A. (2018).
Desarrollo de proyectos con Internet de las Cosas. Editorial Pearson.
- Falas, S., Konstantinou, C. & Michael, M.K. (2022). A Modular End-to-End Framework for Secure Firmware Updates on Embedded Systems. *ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems* 18 (1) 1-19 doi:10.1145/3460234
- Herrero, J. C., & Sánchez, J. (2015). Una mirada al mundo Arduino. *Revista Tecnológico y Desarrollo*, 13, 28.
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8CuAB9jqgmKJ:https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/download/617/573+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=us
- Ismail, S.F.; Kadhim, Din, J. (2024). Towards 6G Technology: Insights into Resource Management for Cloud RAN Deployment. *IoT* 2024, 5, 409-448.
<https://doi.org/10.3390/iot5020020>
- Koen, B. V. (2000). *El método de ingeniería*. Universidad del Valle-ACOFI.
- Melena, W. V. B. (2016). *Plan integral de Señalización y Semaforización* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1886/1/15T00498.pdf>
- Odeh, A.M.; Ishaq, I. (2024). Integration of IoT Technologies for Enhanced Monitoring and Control in Hybrid-Powered Desalination Systems: A Sustainable Approach to Freshwater Production. *IoT* 5, 311-331 pág. <https://doi.org/10.3390/iot5020016>
- Radovici, A., Culic, I. (2022). *Getting Started with Secure Embedded Systems. Developing IoT Systems for micro:bit and Raspberry Pi Pico Using Rust and Tock*
<https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7789-8>. Editorial Apress
- Yazici, I. Shayea, I., Din, J. (2023). A survey of applications of artificial intelligence and machine learning in future mobile networks-enabled systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*.

Acerca de los coordinadores



Dr. Sergio de los Santos Villalobos

- Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de Sonora.
- Su equipo transdisciplinario se enfoca en la bioprospección, innovación y validación de inoculantes microbianos.
- Coordinador Nacional del Grupo de Técnicos y Científicos para la actualización de la NOM-077-FITO-2000, sobre bioinsumos de nutrición vegetal.
- Miembro del panel de expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica, sobre fertilidad en los agro-ecosistemas.
- Poseedor de dos patentes en el área agro-biotecnológica y un registro de desarrollo de software.
- Asesor científico de empresas agro-biotecnológicas.
- Editor de revistas científicas internacionales indizadas.
- Ha publicado más de 140 artículos indizados, 20 capítulos de libro, 6 libros editados.
- Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores del CONAHCYT, nivel 3.



Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

Profesora investigadora del Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Con una sólida formación académica, obtuvo su grado de maestría en ciencias con especialidad en alimentos y nutrición en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

Reconocida por su compromiso académico y docente, la maestra Gassós Ortega ha sido distinguida durante varios años por su desempeño docente, lo que refleja su excelencia y dedicación en la educación superior.

Con casi cuatro décadas de experiencia, ha destacado en la integración de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el diseño e implementación de estrategias didácticas innovadoras, tanto en cursos presenciales como en línea. Su experiencia en la enseñanza incluye áreas como bioquímica general, bioquímica de alimentos y diseño de experimentos, disciplinas donde fomenta el aprendizaje activo y colaborativo entre sus estudiantes.

Además, la maestra Gassós Ortega ha contribuido significativamente al desarrollo de la educación a distancia a través de plataformas virtuales, diseñando herramientas y recursos que fortalecen el proceso educativo. Su participación constante en la Reunión Anual de Academias, donde ha compartido experiencias y resultados de investigación educativa, subraya su liderazgo y compromiso con la mejora continua en su campo.



Mtra. Elizabeth González Valenzuela

Está a cargo de la Coordinación de Desarrollo Académico del Instituto Tecnológico de Sonora desde febrero del 2022; es profesora investigadora de tiempo completo en esta Institución, con experiencia profesional docente desde hace 21 años. Obtuvo el grado de Maestra en Ciencias con Especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Ha colaborado en capítulos de libros, memorias en congresos internacionales relacionados con Sistemas de Gestión de Calidad y convenios de vinculación con empresas de la región. Reconocida como Maestra Distinguida por el Programa de Estímulos al Desempeño Docente en el periodo 2004-2024, con reconocimiento de Perfil Deseable y Apoyo para profesor de tiempo completo por el Comité Evaluador externo al --- (PRODEP) (2004 - 2024). Actualmente, es líder el cuerpo académico de Sistemas de Gestión de Calidad; cuenta con publicaciones en revistas internacionales indexadas a bases de datos, y ha obtenido premios y distinciones a nivel institucional y nacional.

A través del trabajo en equipo, con compañeros del bloque de calidad, ha participado en rediseño curricular desde 2002, dentro de la licenciatura en el programa educativo de Ingeniería Industrial y de Sistemas (plan 2002, 2009 y 2016). Asimismo, ha participado en

el rediseño curricular del programa educativo de posgrado en Maestría en Ingeniería en Logística y Calidad, Maestría en Ingeniería de Sistemas y en la Maestría en la Gestión de la Cadena de Suministro. Además, ha colaborado y coordinado la elaboración de programas de los cursos de licenciatura como Sistemas de Calidad, Certificación de Procesos, Control Estadístico de Procesos, Cultura de Calidad, Planeación de la Calidad, Sistemas de Gestión, Aseguramiento de la Calidad, Evaluación de Procesos, Mejora del Desempeño de Procesos, Solución de Problemas, Práctica Profesional y Seminario de Tesis; también en planes de clase de estos mismos cursos y en programas de curso de posgrado. Es coordinadora de academia de dos cursos del programa educativo de Ingeniero Industrial y de Sistemas (IIS) e igualmente, participó en otros como colaboradora. Ha fungido como recopiladora de evidencias para integrar el documento que se entrega al Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI) para la obtención de la acreditación al Programa Educativo de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Desde 2017, ha participado como observadora y evaluadora de programas educativos de II e IIS para el CACEI.

Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos

Se terminó de editar en Ciudad Obregón, Sonora, el 30 de diciembre de 2024, Por la
Oficina de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Sonora,
en Cd. Obregón, Sonora, México.

Fue puesto en línea para su disposición en el sitio www.itson.mx en la sección de
Publicaciones

Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos

Esta obra intitulada **Líneas innovadoras de investigación de los cuerpos académicos** tiene como objetivo difundir trabajos desarrollados en CA de nuestra institución. Estas contribuciones destacan la importancia del conocimiento e investigación en áreas como: electrónica, desarrollo de software, modelos matemáticos, sistemas agrícolas, sistemas biológicos, estudios psicológicos, y biorremediación.

La comunidad ITSON está plenamente convencida, y trabaja fuertemente, para que la difusión de los trabajos realizados por sus CA potencie la generación y consolidación de conocimientos de vanguardia, fomente nuevas colaboraciones transdisciplinarias y fortalezca aquellas existentes. Esta filosofía de trabajo, nos permite comprender de manera holística los fenómenos estudiados, que han resultado del análisis de las necesidades en la región y en México. Estos enfoques, por otra parte, potencian la formación integral de nuestra comunidad de estudiantes, con capacidad crítica, creativa y liderazgo para afrontar los retos que demandan Sonora y México.