



Ntthe

Ntthe, palabra ña'ñhò (otomí) que significa "vínculo" o "enlace" (se pronuncia "enté")

ISSN 2007-9079

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

ISSN 2007 - 9079 Periodicidad: Cuatrimestral, mayo - agosto - 2025, num. 48

DIFUSIÓN CIENTÍFICA

Ciencias Naturales, Ingeniería,
Tecnología e Innovación

Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 16, num. 48, mayo - agosto 2025. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: agosto de 2025

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

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

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

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

CORRECCIÓN DE ESTILO
DRA. MARÍA LUISA ÁLVAREZ MEDINA
MTRA. MONSERRAT ACUÑA MURILLO

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

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

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

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

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

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

Dr. Rolando Salinas García

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

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jöns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

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

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA



La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 23 de diciembre de 2024. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comité de evaluadores

Dr. Jorge Landaverde Trejo
Universidad Marista de Querétaro

Dr. Carlos Alberto Mirón Juárez
Instituto Tecnológico de Sonora

Dr. Rafael Ramírez Bon
CINVESTAV
Unidad Querétaro

Dra. Mónica Leticia Campos Bedolla
Instituto Tecnológico de Querétaro

Dr. Isidro Loza Aguirre
Universidad Autónoma de Guanajuato
Campus Guanajuato

M. C. Luis Ángel Valencia Flores
Geociencias y Recursos Energéticos
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Juan Carlos Valdés
Universidad Marista de Querétaro

Dra. Claudia Álvarez Salas
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. en C. José de Jesús López Jiménez
Centro Universitario de Ciencias de la Salud
Universidad de Guadalajara

Dr. Aarón Kuri García
Facultad de Filosofía
Universidad Autónoma de Querétaro

Dra. Ana Lilia Fletes Rayas
Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias de la Salud

Dr. Humberto Lanz Mendoza
Instituto Nacional de Salud Pública

Dra. Alma Rosa García Gaona
Consejo Nacional de Acreditación en
Informática y Computación A.C.

Dr. Martín Valtierra Rodríguez
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Raúl Ramírez López
División de Estudios de Posgrado e
Investigación
Instituto Tecnológico de Querétaro

Dr. Joaquín Pérez Meneces
Instituto Tecnológico de Querétaro

Mtra. Diana Olvera Robles
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Heriberto Méndez Cortés
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Juventino López Barroso
Instituto Tecnológico de Querétaro

Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera
Universidad Autónoma de Zacatecas

Dra. en CSP. Nancy Evelyn Navarro Ruiz
Centro Universitario de Tlajomulco
Universidad de Guadalajara

Comentario *Nthe*

Estimados lectores, en esta edición presentamos once artículos, todos ellos producto de investigaciones y aplicaciones tecnológicas que las y los investigadores realizan dentro de sus áreas del conocimiento.

El artículo que abre el número 48 de la revista, “Caracterización de transductores ultrasónicos para fisioterapia”, analiza el uso de la balanza de fuerza de radiación en la caracterización de equipos ultrasónicos médicos terapéuticos. Se evalúan los métodos de calibración empleados en el Centro Nacional de Metrología y otros Institutos Internacionales de Metrología, haciendo énfasis en los procedimientos para determinar la potencia y el área efectiva de radiación de los transductores ultrasónicos. Se discuten los desafíos actuales en la medición de estos parámetros y se comparan los resultados obtenidos en diferentes estudios. Finalmente, se resaltan las mejoras tecnológicas recientes y su impacto en la precisión de las mediciones, así como las oportunidades para optimizar los sistemas de referencia utilizados en la metrología acústica.

En el siguiente artículo, “La paradoja del éxito laboral y rendimiento académico en ingenieros”, se busca demostrar que el rendimiento académico no es una variable que determine si tienes éxito al momento de quererte insertar al mercado laboral. Este estudio se dividió en 2 partes, un análisis de la literatura en donde se revisaron más de 60 textos que se fueron filtrando hasta conservar los que resultaban más relevante. También se realizó un caso de estudios en los que se encuestaron a 39 egresados de ingeniería industrial de la UAQ, centrándose en su situación actual y percepción de éxito profesional. Los resultados arrojaron que por parte de la literatura existen otras variables como desarrollo de habilidades blandas y técnicas, networking y experiencia previa profesional que inciden más en el alcance de éxito, aunado a esto, el caso de estudio presento que el salario ($p=0.00$) y estatus de empleo ($p=.020$) tienen relación con el promedio a diferencia de la antigüedad y nivel jerárquico. En conclusión la realidad muestra que el éxito no depende en su totalidad del rendimiento académico, invitando a replantear como se evalúa el potencial de un ingeniero.

En el artículo número tercero de la revista, “Redes Peatonales Accesibles con Restricciones Geométricas Modeladas Mediante Grafos”, aborda el problema de diseñar algorítmicamente una red de rutas peatonales accesibles para personas en sillas de ruedas, dado un conjunto de puntos de acceso localizados en el espacio y el tráfico de peatones entre cada par distinto de puntos. Propone como prueba de concepto un algoritmo iterativo constructivo de geometría, con el objetivo de priorizar conexiones de alto tráfico minimizando la distancia, sujeto a las restricciones geométricas de caminos accesibles que especifican diferentes normativas de construcción. Para esto toma la red dada como un grafo no direccionado con peso igual a la distancia cartesiana de cada arista y prioridad igual al tráfico de peatones sobre la arista. Elimina del grafo aristas no viables de acuerdo a las restricciones, poda el grafo tomando cada arista y buscando si hay una ruta alterna que no incrementa la distancia entre dos nodos más que un factor de desviación permisible, construye rampas sobre aristas viables, situando nodos nuevos en descansos, e iterativamente muta la estructura del grafo conectando nuevos nodos con viejos mediante aristas, hasta que se cumple la condición que indica que, en todas las componentes del grafo, los nodos miembros de esas componentes están conectados por caminos accesibles, y que los componentes no se pueden conectar. El desempeño del algoritmo se revisa visualmente, observando las diferencias que producen diferentes cambios en los factores que lo componen.

En el siguiente artículo, “EcoMuros: Innovación Estructural con Vidrio Reciclado” se aborda la problemática del desecho de vidrio y su impacto ambiental que este puede llegar a generar, proponiendo así su reutilización en la fabricación de bloques de construcción sostenibles. A partir de una hipótesis que plantea la viabilidad técnica de crear un material resistente y funcional a partir de vidrio reciclado y aglutinantes como el cemento, se analiza su comportamiento mecánico, resistencia estructural y compatibilidad con la normativa. Se revisa el estado del arte sobre el uso del vidrio en la construcción, evidenciando mejoras en la resistencia a compresión y reducción de la porosidad con proporciones óptimas de vidrio. Además, se detallan fórmulas estructurales fundamentales basadas en normativas mexicanas, necesarias para garantizar la seguridad de los muros fabricados con estos bloques. Finalmente, se expone una metodología práctica para la elaboración de los bloques, desde la recolección del vidrio hasta el curado del producto final, destacando su potencial como solución ecológica, económica y estructuralmente segura para edificaciones de baja complejidad efectiva.

Comentario *Nthe*

“Muros Verdes: Solución Sostenible para Entornos Urbanos”, presenta una revisión general sobre los muros verdes, enfocándose en su composición técnica, beneficios ambientales y los efectos positivos sobre la salud humana. Recientemente se vinculan los jardines verticales con mejoras en el bienestar físico y emocional, como la reducción de contaminantes en la atmósfera, la mitigación del estrés urbano y el fomento del contacto visual con la naturaleza. También se consideran aspectos técnicos fundamentales para su implementación adecuada, como la selección de especies, el sistema de cultivo y las condiciones climáticas del entorno. Los muros verdes, también conocidos como jardines verticales, son sistemas vegetativos que permite el desarrollo de plantas y que están instalados sobre estructuras arquitectónicas verticales, comúnmente en entornos urbanos. Estos sistemas están conformados por paneles cubiertos con plantas, sostenidos mediante estructuras metálicas fijadas a paredes, e integran sistemas de riego por goteo, gravedad o microaspersión que permiten el desarrollo y mantenimiento de la vegetación. Su implementación se ha incrementado en los últimos años como parte de estrategias de arquitectura sostenible y mejora ambiental en ciudades densamente pobladas. Su uso creciente evidencia un cambio hacia una arquitectura más consciente del medio ambiente y de las necesidades humanas.

El artículo: “Subproducto de Café vs Orujo: Cómo los residuos agroindustriales transforman los compuestos poliméricos”, este trabajo nos dice que el café y el vino, son dos de las bebidas más consumidas a nivel mundial; los elementos que las constituyen son el fruto del café y la uva; ambos frutos son cosechados por toneladas cada año, utilizados y desechados por las grandes industrias; su huella ecológica está causando estragos en el medio ambiente, es por ello que, la comunidad científica está centrando sus esfuerzos en que los subproductos de la industria (SI) alimenticia tengan un nuevo uso, y en este sentido, se explora su potencial como elementos de refuerzo en los polímeros. El reforzamiento con los SI se ha vuelto muy popular, y se están dirigiendo nuevos métodos para crear polímeros reforzados de alta calidad. El presente estudio recopila el estado de arte de los reforzamientos con SI de café y de uva (orujo), analizando el impacto que conlleva a las propiedades mecánicas de los polímeros (como lo son el módulo de elongación, el módulo de tensión y el módulo de Young), el porcentaje de SI añadido, el pretratamiento de las fibras naturales y la adición de compatibilizantes. El desarrollo de polímeros reforzados es una opción sostenible para nuevos productos, el uso de SI de la industria cafetera y vinícola conlleva a un desarrollo de tecnologías que abarcan amplios campos de la industria.

En el siguiente artículo, “Hidrolizados proteicos como aditivos para la alimentación de Tilapia”, Se evalúa la adición de hidrolizados proteicos derivados de residuos de producción pecuaria a dietas para alevines de tilapia. Tres diferentes hidrolizados (pollo, cerdo y pescado) se adicionaron en 1.5 y 3% a una dieta convencional. Se determinó su calidad química y durante 60 días se suministraron las dietas experimentales a un cultivo de tilapia con condiciones monitoreadas de temperatura, oxígeno y pH. Semanalmente se pesaron y midieron los organismos para calcular índices de crecimiento y utilización de nutrientes. Como parte de los resultados, se obtuvo que los hidrolizados proteicos como aditivos aumentaron hasta tres veces la ganancia en peso de los alevines, así como una mayor asimilación y aprovechamiento de proteína en comparación con la dieta convencional. Aunque los tres tipos de hidrolizados generaron valores superiores en los diferentes índices de crecimiento, se recomienda la inclusión de hasta 3% de hidrolizado de pescado para la alimentación de alevines de tilapia.

“El consumo de garambullo modula la expresión de proteínas asociadas a inflamación e induce proliferación de *Lactobacillus* en un modelo de cáncer de colon *in vivo*”, nos dice que el cáncer de colon es una de las neoplasias más frecuentes en México caracterizado por un proceso inflamatorio exacerbado, siendo los hábitos alimentarios parte de su etiología. El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruto rico en compuestos bioactivos, ha demostrado efectos preventivos contra lesiones preneoplásicas en un modelo animal de cáncer de colon. Un mecanismo de protección propuesto es mediante la inhibición de la inflamación, mediado por metabolitos generados durante la fermentación del garambullo por la microbiota intestinal. El género *Lactobacillus* destaca por promover la homeostasis intestinal e intervenir en vías de señalización asociadas a inflamación. El objetivo de este proyecto fue determinar el efecto del garambullo en la modulación de biomarcadores inflamatorios y la abundancia del género *Lactobacillus* en fase temprana de cáncer de colon *in vivo*. Ratas Sprague-Dawley asignadas en 3 grupos experimentales (n=12 por grupo): 1) Control 2) Azoximetano-dextrán sulfato de sodio (AOM-DSS), 3) Garambullo+AOM-DSS. Tras 16 semanas, se recolectaron muestras de heces y tejido colónico. Se identificaron proteínas de inflamación (ICAM-1, IL-1ra y TNF- α) mediante .

Comentario Nthe

microarreglo de proteínas. Se determinó la abundancia relativa del género *Lactobacillus* mediante secuenciación 16S. Los resultados indican que el consumo de garambullo disminuyó la expresión de proteínas pro-inflamatorias ICAM-1 y TNF- α , aumentó la expresión de IL-1ra proteína anti-inflamatoria y la abundancia del género *Lactobacillus* en las ratas inducidas químicamente. En conclusión, se sugiere que el garambullo induce un efecto quimioprotector en el colon, asociado a la modulación de marcadores inflamatorios y la promoción de proliferación de bacterias del género *Lactobacillus*.

El artículo: “Características, ventajas y limitantes de los diseños de investigación en áreas médicas”. Por diseño de investigación (Di) se define al método con el cual se planificará y analizará la información de un proyecto de investigación. En el campo médico, cada Di tiene sus propias características; clasificándose por su tipo de análisis y temporalidad. La validez de los futuros resultados de un proyecto, así como el cumplimiento de sus objetivos, dependerá de la correcta selección del Di. Ante ello, el objetivo del presente artículo será describir las características, ventajas y limitaciones de los principales diseños médicos de investigación. Para redactar el manuscrito, se realizó una revisión de la información de tipo narrativa, buscando en bases de datos, motores de búsqueda, así como libros de metodología clínica, básica y epidemiológica. De acuerdo con la investigación que se plantee, así como a los objetivos de la taxonomía de Bloom, se pueden seleccionar Di experimentales u observacionales. Los primeros incluyen estudios prospectivos como los ensayos clínicos y las intervenciones educativas, que identifican correlaciones y diferencias entre poblaciones. Por otro lado, estudios observacionales tales como cohortes, casos y controles, así como transversales, permiten la identificación de prevalencias, incidencias y asociaciones. Sin embargo, dependiendo de su temporalidad y tipo de análisis, será más difícil su realización, implicando mayor conocimiento estadístico o inversión económica. La correcta elección del Di no solo permitirá que se cumplan los objetivos del estudio, sino que además permitirá su registro ante comités de investigación. De esta manera se podrán iniciar investigaciones, las cuales permitan la generación de nuevas evidencias médicas. .

En el siguiente artículo, “Principios éticos que deben considerarse para la correcta realización y registro de investigaciones clínico-epidemiológicas”, La ejecución de Protocolos de investigación (Pi) clínico-epidemiológico, y su registro ante Comités de Investigación, dependerá tanto de sus fundamentos teórico-metodológicos, como de los elementos éticos que protegerán la integridad de sus futuros participantes. Por ello, el objetivo del manuscrito será describir los principios éticos que deben considerarse para la realización y registro de dichas investigaciones. Se realizó una búsqueda bibliográfica de tipo narrativa en bases de datos y motores de búsqueda. Asimismo, se revisaron libros y normativas legales que especificasen para la correcta realización de proyectos de investigación en territorio mexicano. Todo proyecto de investigación deberá considerar tres pilares éticos: la *justicia*, permitiendo la participación equitativa de toda persona a la investigación, así como el principio de *beneficencia / no maleficencia*. Igualmente, se debe de considerar el principio de *autonomía*, permitiendo la participación libre y voluntaria a la investigación. A su vez, el Pi deberá describir las normativas, leyes y artículos que sustenten estos principios, así como anexar una hoja de consentimiento informado al final del protocolo. Este documento deberá de especificar como es que se respetarán tanto estos principios, así como la *confidencialidad* de los participantes del estudio. El conocer estos principios éticos, y describir su aplicación dentro de un Pi, permitirá no solo su aceptación ante un Comité de Ética, sino además la validación de sus futuros resultados. De esta manera, la información podrá ser aplicable en futuras investigaciones, así como en la toma de decisiones clínica sostenible. Estos estudios destacan que la eficiencia de las energías renovables no debe medirse únicamente en términos operativos, sino mediante un enfoque integral del ciclo de vida. Para ello, se compararon estudios que documentan emisiones de CO₂-eq/kWh, consumo de recursos hídricos y el impacto ambiental general de cada tecnología. Esta revisión destaca la importancia de implementar estrategias de mitigación y economía circular para reducir los impactos ambientales asociados a cada tecnología. Los resultados indican que la selección de una fuente de energía debe considerar no solo la fase operativa, sino también fases de producción y desmantelamiento, para maximizar los beneficios ambientales. Además, se identifican oportunidades de mejora mediante el uso de materiales reciclables y la aplicación de modelos de economía circular.

Comentario *Nthe*

En el último artículo “Imagen Urbana. Un estudio de caso en Chihuahua, Chih.” nos dice que un problema que se presenta en algunos puntos del centro de la Ciudad de Chihuahua es el de su Imagen Urbana, aunque cabe mencionar que, la fecha, se han realizado modificaciones y/o intervenciones urbanas de gran relevancia y con un buen impacto urbano, ejemplos como la Plaza de Armas, Av. Venustiano Carranza, calle Libertad, la Calle Victoria, entre otros; en contra punto se han dejado en el olvido ciertos puntos, como lo es nuestro estudio de caso. Entendiéndose como imagen urbana, la conjugación de los elementos naturales y construidos que forman parte del marco visual de los habitantes de una ciudad. Nuestro estudio de caso "Calle Julián Carillo", no cuenta con vegetación relevante, que mejore nuestro campo visual, ni amortigüe las temperaturas de esta zona. El espacio público cumple con una multifuncionalidad, un ejemplo de ello son las banquetas que además de andadores comerciales, funcionan como paradas de camión, aparadores de mercancía, etc., en un espacio reducido. En el aspecto arquitectónico no existe nada de relevancia, y pues las fachadas que existen no ofrecen ningún atractivo, ni hacen relevancia la Ciudad, ni a su cercanía con el centro histórico. La distribución espacial hace la combinación de un todo, en un pequeño espacio, sumando con una mala distribución, dando como resultado: "Contaminación Visual". Se debe crear un esquema urbano para dar una imagen y un mejor funcionamiento de esta zona.

Esperemos que la lectura crítica y propositiva de los textos que se publican, promuevan el intercambio de ideas y la reflexión para seguir generando conocimiento.

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

ÍNDICE

Caracterización de transductores ultrasónicos para fisioterapia

Nadia Gabriela Martínez Mancilla
Ana Lilia Lopez Sanchez
Carlos Eli Martínez Pérez
Javier García Pérez
Eric Leonardo Huerta Manzanilla
Universidad Autónoma de Querétaro
Centro Nacional de Metrología
³Universidad Anáhuac Querétaro

1

La paradoja del éxito laboral y rendimiento académico en ingenieros

Alejandro Zapata Freeman
Magdalena Mendoza Sánchez
Edwin Geovanny Vergara Ayala
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

8

Redes Peatonales Accesibles con Restricciones Geométricas Modeladas Mediante Grafos

Christopher Daniel Herdin
Mario Trejo Perea
José Gabriel Ríos Moreno
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

19

EcoMuros: Innovación Estructural con Vidrio Reciclado

Daniel Gil Tello
Ernesto Ortiz Gudiño
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

27

Muros Verdes: Solución Sostenible para Entornos Urbanos

Alejandro Sánchez Pérez
Mario Trejo Perea
Universidad Autónoma de Querétaro

33

Subproducto de Café vs Orujo: Cómo los residuos agroindustriales transforman los compuestos poliméricos

Karla Berenice Ortega Moreno
Magdalena Mendoza Sánchez
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

40

Hidrolizados proteicos como aditivos para la alimentación de Tilapia

Mónica Vanessa Oviedo Olvera
Ana Angélica Feregrino Pérez
Juan Fernando García Trejo
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

50

El consumo de garambullo modula la expresión de proteínas asociadas a inflamación e induce proliferación de Lactobacillus en un modelo de cáncer de colon in vivo

Edelmira Sánchez Recillas
Mardey Liceth Cuéllar Muñoz
Juan Carlos Solís Sáinz
Pablo García Solís
Haydé Azeneth Vergara Castañeda
¹Facultad de Medicina
Centro de Investigación Biomédica Avanzada (CIBA).
Universidad Autónoma de Querétaro

57

Características, ventajas y limitantes de los diseños de investigación en áreas médicas

Adrián Enrique Hernández Muñoz
Danna Ximena Cabello Martínez
María José Badillo Pescador
Daniela Rodríguez Arreguín
Montserrat Lugo Sánchez
Alondra Martínez Peña
Victor Sebastián Mercado García
Karla Michelle Hernández Muñoz
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Querétaro

65

ÍNDICE

Principios éticos que deben considerarse para la correcta realización y registro de investigaciones clínico-epidemiológicas

75

Daira Nayeli Soriano Hernández
Ángela Paulina Valdez Quezada
Adrián Enrique Hernández Muñoz
Ana Karen Rubí Cortés
Guadalupe Jacqueline Ruiz Cruz
María José Núñez Olvera
Guillermo López Zamudio
Alejandro Aguirre López
Vanessa Lizette Islas Muñoz
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Querétaro

Imagen Urbana. Un estudio de caso en Chihuahua, Chih.

85

Luis M. Rivero Estrada
Instituto Tecnológico de Chihuahua II

Caracterización de transductores ultrasónicos para fisioterapia

Ing. Nadia Gabriela Martínez Mancilla¹, Dra. Ana Lilia Lopez-Sanchez², MI. Carlos Eli Martínez Pérez³, MI. Javier García Pérez¹, Dr. Eric Leonardo Huerta Manzanilla¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

²Centro Nacional de Metrología

³Universidad Anáhuac Querétaro

Correspondencia: nmartinez85@alumnos.uaq.mx alopez@cenam.mx carloseli.martinez@anahuac.mx

Resumen

Este artículo analiza el uso de la balanza de fuerza de radiación en la caracterización de equipos ultrasónicos médicos terapéuticos. Se evalúan los métodos de calibración empleados en el Centro Nacional de Metrología y otros Institutos Internacionales de Metrología, haciendo énfasis en los procedimientos para determinar la potencia y el área efectiva de radiación de los transductores ultrasónicos. Se discuten los desafíos actuales en la medición de estos parámetros y se comparan los resultados obtenidos en diferentes estudios. Finalmente, se resaltan las mejoras tecnológicas recientes y su impacto en la precisión de las mediciones, así como las oportunidades para optimizar los sistemas de referencia utilizados en la metrología acústica.

Palabras clave: Potencia ultrasónica, Área efectiva de radiación, Balanza de fuerza de radiación, Fisioterapia, Transductores ultrasónicos, Calibración.

Abstract

This article analyzes the use of the radiation force balance in the characterization of therapeutic medical ultrasonic equipment. Calibration methods employed at the National Metrology Center and other International Metrology Institutes are evaluated, with emphasis on the procedures used to determine the power and effective radiating area of ultrasonic transducers. Current challenges in measuring these parameters are discussed, and the results obtained in different studies are compared. Finally, recent technological improvements and their impact on measurement accuracy are highlighted, as well as opportunities to optimize reference systems used in acoustic metrology.

Keywords: Ultrasonic power, Effective radiating area, Radiation force balance, Physiotherapy, Ultrasonic transducers, Calibration.

I. INTRODUCCIÓN

Existe una amplia y creciente variedad de aplicaciones del ultrasonido en el sector salud, tales como el diagnóstico, terapia y litotricia. Desde los primeros avances en la tecnología de ultrasonido para aplicaciones médicas, ha surgido un interés en conocer la salida acústica generada por estos dispositivos. Este conocimiento es fundamental para validar el rendimiento de los equipos y garantizar la calidad de los tratamientos y seguridad de los pacientes.

El ultrasonido terapéutico (UT) es uno de los recursos más utilizados por los profesionales en el tratamiento de diversas afecciones musculoesqueléticas (Van Der Windt et al., 1999). Se considera una herramienta valiosa en el campo de la medicina debido a su carácter no invasivo y a los efectos térmico-mecánicos que ejerce sobre los tejidos tratados. Estos efectos se traducen en beneficios, como la extensibilidad del tejido conectivo, incremento del metabolismo local, mejora de la circulación sanguínea y aceleración de la regeneración de los tejidos. A pesar de los efectos biológicos bien establecidos, se han reportado numerosos casos de fallos, como áreas de calentamiento desigual en los transductores o desviaciones en la calibración de los equipos de UT (Ferrari et al., 2010).

Un estudio realizado por el Centro Nacional de Metrología (CENAM) reveló que la salida acústica de 1 de cada 4 equipos de UT para fisioterapia en el estado de Querétaro, se encontraban fuera de la tolerancia indicada por las normativas internacionales (Luna et al., 2011). Más preocupante aún, el 100% de los médicos y fisioterapeutas consultados comprendían la importancia de que sus equipos entregaran los valores que ellos configuraban al equipo, sin embargo, desconocían si los proveedores de mantenimiento tenían la capacidad de medirla adecuadamente o si existía trazabilidad a patrones

nacionales en las verificaciones. Este escenario genera incertidumbre sobre la calidad de los tratamientos y potenciales riesgos para la salud de los pacientes.

La Balanza de Fuerza de Radiación (BFR) es un instrumento que permite la cuantificación rápida y directa de la potencia ultrasónica sin necesidad de emplear técnicas complejas con instrumentos más delicados. Sus características y método de medición se describen en la norma IEC 61161 (2013), que regula su diseño y desempeño. Sin embargo, a pesar de que la medición de la potencia es fundamental para su caracterización, no basta por sí sola para evaluar completamente la calidad del equipo ultrasónico. La norma IEC 61689 (2022) establece que los parámetros fundamentales a evaluarse en equipos de UT para fisioterapia son principalmente la potencia de salida y la intensidad espacial-temporal promedio con una tolerancia máxima permitida de $\pm 20\%$. Esto implica identificar el área efectiva de radiación (ERA), la frecuencia de operación y la uniformidad del haz ultrasónico (BFR) que genera.

Se es capaz de

medir la potencia ultrasónica con métodos de medición bien conocidos y en niveles muy altos. Sin embargo, resulta más complejo medir parámetros como la intensidad, debido a la naturaleza del campo acústico y a los desafíos asociados con el uso de hidrófonos. Aun cuando los fabricantes están obligados a medir dichos parámetros para lograr la aprobación de modelo y comercialización de sus equipos, no hay normas o estándares locales que indiquen la necesidad de medir periódicamente su salida acústica y su conformidad con las tolerancias en las normativas.

II. POTENCIA ULTRASÓNICA

La potencia ultrasónica es un parámetro fundamental, ya que se relaciona directamente con la cantidad de

energía que se aplica al paciente. Para determinar la potencia total radiada por un equipo de UT, se utiliza una BFR. Hay una extensa cantidad de literatura que describe el método y su principio de funcionamiento, así como una diversidad de dispositivos disponibles en el mercado para este fin (Hekkenberg et al., 2001).

La fuerza de radiación es una fuerza temporal promedio que un campo acústico ejerce sobre un objeto (blanco) que se encuentra en su trayectoria. El principio se basa en la medición de la fuerza de radiación ejercida al colocar un blanco en el haz de un transductor ultrasónico, de tipo absorbente o reflectante (Fig. 1). Se utiliza una balanza gravimétrica con el transductor parcialmente sumergido en un tanque con agua desgasificada, y se alinea axialmente con el eje del blanco.

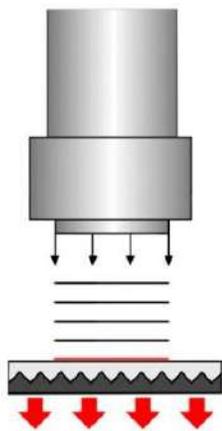


Fig. 1. Emisión de un haz ultrasónico generando una fuerza de radiación en la superficie de un medio.

Para la medición, se determina la diferencia de fuerza en el blanco, con y sin ultrasonido, alternando entre ciclos de encendido y apagado del del equipo. Entonces, la balanza registra la diferencia en el peso del blanco debido a la fuerza de radiación ejercida por el haz ultrasónico (Fig. 2). Los intervalos de tiempo entre encendido y apagado suelen ser de 15 a 35 segundos, y el número de ciclos puede variar entre tres y seis según la situación específica.

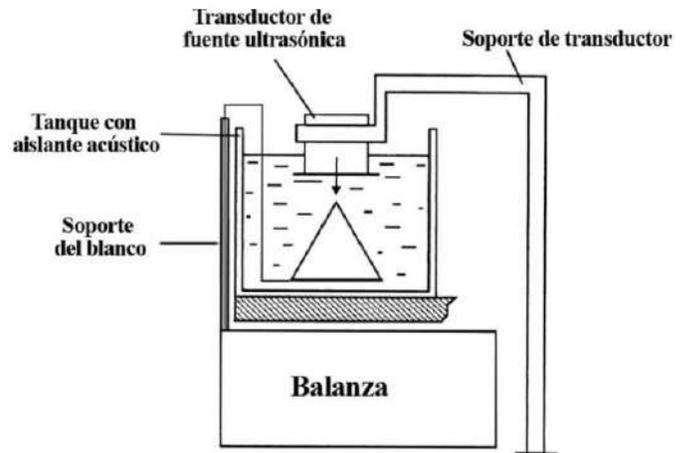


Fig. 2. Esquema de la balanza a nivel terapéutico con un blanco cónico reflectante convexo.

La fuerza de radiación medida debe convertirse a un valor de potencia ultrasónica. La relación entre la potencia ultrasónica temporal promedio P , y la fuerza de radiación temporal promedio F , sobre el blanco, depende de la estructura del campo acústico. Para un caso ideal con ondas planas y un reflector perfecto, esta relación se describe como se indica en la expresión (1), mientras que para un blanco absorbente perfecto se define como se indica en la expresión (2).

$$P = \frac{c \cdot F}{2 \cos^2 \theta} \quad (1)$$

$$P = c \cdot F \quad (2)$$

Donde, θ es el ángulo entre la onda incidente y la normal a la superficie del blanco y, c la velocidad de propagación del sonido en el medio, que generalmente es agua.

La relación proporcional entre la potencia acústica y la fuerza de radiación asume que el campo ultrasónico es una onda plana que se propaga en línea recta y de manera uniforme. Sin embargo, aunque en la práctica el campo ultrasónico no se comporta de manera perfectamente plana, es posible considerar que así sucede dado que el blanco se coloca a una distancia lo más cercana posible a la cara del transductor. Además, se aplican correcciones para compensar la atenuación

del ultrasonido en su propagación a través del agua, desde la cara del transductor hasta la superficie del blanco.

El agua se utiliza como medio de acoplamiento porque tiene propiedades similares a las de los tejidos blandos del cuerpo, como la densidad y la velocidad de propagación del sonido; además, no genera mucha reflexión o dispersión. En este tipo de sistemas, el uso de agua desgasificada es esencial para evitar la cavitación. La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando un líquido es sometido a cambios rápidos de presión, provocando la formación de burbujas de gas o vapor. Estas burbujas pueden dispersar y absorber el sonido, lo que podría alterar las mediciones y llevar a errores de la potencia medida de hasta un 25%.

Otro aspecto a considerar es el tamaño del blanco y la divergencia del haz. La norma IEC 61161 (2013) establece los requisitos específicos sobre las dimensiones mínimas para los objetivos que se utilizan en la BFR. Este depende de varios factores como la distancia desde el centro del transductor hasta su borde, el valor de ka (parámetro que se calcula multiplicando el número de onda k por el radio del transductor a) y la distancia entre el transductor y el objetivo. Según la norma, el diámetro mínimo del blanco debe ser al menos 1.5 veces el diámetro del transductor. A frecuencias más bajas o con cristales pequeños, el haz ultrasónico se vuelve más divergente, provocando que la energía se disperse más. Esto se debe a que el haz ultrasónico tiende a expandirse a medida que se aleja del transductor, por lo que se tiene que utilizar un blanco lo suficientemente grande para capturar toda la energía.

Para conocer el error de medida en la BFR, es necesario calibrarla. La calibración se realiza utilizando pesas con trazabilidad al Patrón Nacional de Masa No. 21. Los valores de las masas de referencia se seleccionan de acuerdo con el alcance máximo de potencia ultrasónica que se desea cubrir;

por ejemplo, una masa de 2 g equivaldría a una potencia ultrasónica de 29 W aproximadamente. Así mismo, una vez calibrada en términos de masa, se puede verificar utilizando un transductor ultrasónico de referencia, cuyo valor de conductancia electroacústica de radiación G , es conocido. Esto se lleva a cabo aplicando una tensión rms de entrada U al transductor, donde también se conoce la potencia ultrasónica de emisión P , tal como se indica en la expresión (3). Así se asegura que la balanza mide correctamente la potencia generada por diferentes fuentes de ultrasonido.

$$G = P/U^2 \quad (3)$$

III. OTRAS TÉCNICAS

3.1 Calorimetría. – Cuando un transductor emite ondas de ultrasonido en un medio, parte de esa energía se absorbe y a su vez provoca un aumento de temperatura. El método consiste en medir dicho incremento de temperatura para calcular la potencia ultrasónica (Uchida & Kikuchi, 2013). Aunque la técnica es más lenta y menos sensible que BFR, su principal ventaja es que no mide la fuerza física del ultrasonido sobre un objeto y, por lo tanto, no depende de la dirección del haz ultrasónico. Esto la hace adecuada para medir diferentes tipos de haces sin importar si la energía se dispersa o se concentra. Además, requiere de cuidados especiales para minimizar fuentes de calor externas y pérdidas térmicas, pero con una adecuada preparación ofrece mediciones de potencia precisas.

3.2 Piroelectricidad. – Esta técnica se basa en el uso de una membrana de polímero piezoeléctrico, típicamente fluoruro de polivinilideno (PVDF), que responde a los cambios de temperatura generados por la absorción de energía acústica. Cuando el haz ultrasónico incide sobre la membrana, la mayor parte de la energía se absorbe entre la membrana y un respaldo de poliuretano. Este respaldo es un material

altamente absorbente que detiene el avance del ultrasonido y permite que el calor se concentre en la zona de la membrana. Esto provoca un aumento rápido de la temperatura, lo que genera una carga eléctrica en la membrana debido al efecto piroeléctrico, el cual es proporcional a la tasa de cambio de temperatura. De esta forma, se puede correlacionar directamente el voltaje medido con la potencia acústica aplicada. Este método presenta ventajas en términos de simplicidad y velocidad de medición (Zeqiri et al., 2007). Es útil para aplicaciones clínicas, donde se necesita una medición rápida, menos costosa y compleja. Sin embargo, requiere calibración mediante métodos estándares como BFR para asegurar su exactitud.

IV. ÁREA EFECTIVA DE RADIACIÓN

El ERA es la medición del área sobre la cual un transductor emite la mayor parte de su potencia. Es un parámetro importante porque la distribución de la energía ultrasónica influye en la efectividad de los tratamientos en fisioterapia. La norma IEC 61689 (2022) define el ERA como un área intermedia denominada Área de Sección Transversal del Haz (BCSA), la cual representa la región que contiene el 75% de la potencia acústica. La medición consta de un escaneo del campo acústico utilizando hidrófonos en diferentes planos a diferentes distancias del transductor. Su medición se realiza mediante un patrón de escaneo cuadrado y recolecta los datos de presión acústica en cada posición. Sin embargo, para transductores con un valor de $ka < 1$, BCSA puede variar de manera no lineal y, por ende, dar un resultado erróneo.

Según la Food and Drug Administration de los Estados Unidos de Norteamérica (FDA), el ERA se define como el área donde la intensidad (cuadrado del voltaje del hidrófono) es mayor que el 5% de la intensidad máxima medida y que debe medirse a 5 mm del transductor. La metodología es

particularmente más sensible a errores porque localizar y medir el punto de máxima intensidad con precisión es complicado debido a que la estructura del campo acústico en el campo cercano es más compleja. Esto genera incertidumbres en la medición, especialmente en transductores cuyos haces acústicos tienen una distribución dispersa. Además, los valores obtenidos por este método son generalmente más altos (hasta un 69%) que los medidos utilizando la metodología descrita en IEC. Se argumenta que la definición de IEC es más correcta, ya que está directamente relacionada con la potencia. No obstante, existe un enfoque alternativo a la técnica tradicional.

El primer método para medir el ERA utiliza BFR y bafles cónicos de acero para reflejar la energía ultrasónica de los bordes del transductor. Sin embargo, la técnica no ofrece resultados consistentes, y fue reemplazado por el uso de hidrófonos para trazar el haz ultrasónico. Posteriormente se retomó el método utilizando material absorbente acústico en lugar de material reflejante (Fig. 3). La técnica emplea máscaras con aperturas que absorben progresivamente la energía del campo conforme se reduce el tamaño de la apertura. El procedimiento consiste en colocar una serie de máscaras con orificios circulares de diferentes diámetros en el trayecto del haz, y medir la potencia transmitida. Se comienza con una apertura grande que permita el paso de la totalidad del haz, y luego se reduce gradualmente el tamaño de dicha apertura para dejar pasar solo una parte. Esto reduce la cantidad de energía que llega al detector (BFR), ofreciendo un análisis más preciso de la distribución de la energía en el haz.

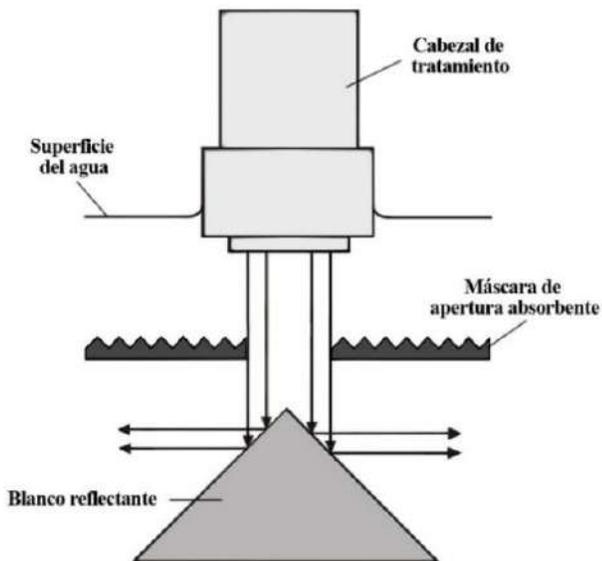


Fig. 3. Representación esquemática de un arreglo vertical con un blanco reflectante.

El método incluye un análisis de clasificación de los datos de potencia similar al método con hidrófonos. Se clasifican las mediciones de potencia en función del tamaño de las aperturas y se genera una curva de potencia acumulada frente al área de apertura. Inicialmente, se utilizaba el 90% de la potencia transmitida para calcular el ERA, sin embargo, ahora se utiliza como referencia el 75% de la potencia total para determinar el tamaño del área efectiva. Este enfoque con aperturas muestra una variación típica de $\pm 11\%$. El método está incluido como complemento de la IEC 61689 (2022), y está presentado como una alternativa más simple para verificar el ERA en hospitales y clínicas. Sin embargo, no reemplaza a los procedimientos de referencia establecidos en la normativa, ya que no es adecuado para resultados de alta precisión.

V. DISCUSIÓN

Las mediciones de los parámetros del UT están relativamente bien definidas y los dispositivos para llevarlas a cabo se encuentran fácilmente disponibles. Estudios demuestran que las mediciones de potencia (de hasta 20W), tanto en el CENAM como algunos

otros Institutos Nacionales de Metrología, como PTB de Alemania, NPL de Reino Unido y TNO-PG de los Países Bajos, están dentro de los límites de incertidumbre establecidos por la norma ($\pm 7\%$) (Hekkenberg et al., 2001; Luna et al., 2011). Sin embargo, los resultados también revelan discrepancias en los valores medidos, particularmente en transductores de baja frecuencia y haces divergentes. Incluso se ha mostrado que las variaciones para este tipo de transductores son mayores cuando se utilizan blancos reflectantes en lugar de blancos absorbentes.

Por otro lado, los transductores con un ka de 30 aproximadamente, tienen haces ultrasónicos relativamente estrechos. Para estos transductores los blancos reflectantes tienden a ser ligeramente subestimados en comparación con los absorbentes (alrededor de un 3%). No obstante, esta diferencia no es significativa, ya que las incertidumbres varían entre 2.6% y 3.9%. Otro aspecto destacado en la revisión es que el calentamiento del medio durante las mediciones introduce variaciones en los resultados. Los estudios coinciden en que es fundamental controlar los efectos térmicos durante las pruebas para minimizar las incertidumbres.

A pesar de la disponibilidad generalizada de equipos, las mejoras tecnológicas y el desarrollo de algoritmos para la corrección de ondas no planas, el problema de la falta de aseguramiento metrológico de los equipos de fisioterapia no ha mejorado en los últimos años. Aunque se han propuesto e investigado nuevos métodos, la BFR y los hidrófonos siguen siendo el estándar predominante en la calibración de equipos de UT. Aun así, los estudios muestran que existe un margen para optimizar los sistemas de referencia utilizados en la metrología acústica. Estos desafíos reflejan la necesidad de estandarizar localmente la medición de la salida acústica de estos equipos de

forma periódica, con trazabilidad a patrones nacionales.

VI. CONCLUSIÓN

La calibración de los equipos de UT para fisioterapia sigue siendo un desafío. No es un problema de los métodos de medición utilizados, el verdadero desafío radica en la falta de conciencia y prioridad que se le otorga. A menudo se percibe al ultrasonido como un procedimiento de bajo riesgo, lo que lleva a una subestimación de la necesidad de realizar evaluaciones periódicas de calibración.

VII. REFERENCIAS

Ferrari, C. B., Andrade, M. A. B., Adamowski, J. C., & Guirro, R. R. J. (2010). Evaluation of therapeutic ultrasound equipments performance. *Ultrasonics*, 50(7), 704-709. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2010.02.006>

Hekkenberg, R. T., Beissner, K., Zeqiri, B., Bezemer, R. A., & Hodnett, M. (2001). Validated ultrasonic power measurements up to 20 w. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 27(3), 427-438. [https://doi.org/10.1016/S03015629-\(00\)00344-6](https://doi.org/10.1016/S03015629-(00)00344-6)

IEC 2013 Ultrasonics - Power measurement - Radiation force balances and performance requirements IEC Publication 61161 Ed. 3 (Geneva: International Electrotechnical Commission).

IEC 2022 Ultrasonics - Physiotherapy systems - Field specifications and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz IEC Publication 60189 Ed. 4 (Geneva: International Electrotechnical Commission).

Luna, R. A., Sánchez, A. L. L., & Juárez, A. A. E. (2011). Ultrasound Metrology in Mexico: A round robin test for medical diagnostics. *Journal of Physics: Conference Series*, 279, 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/279/1/012030>

FDA 2022. 21 CFR 1050.10 - Ultrasonic therapy products. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration. <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2001-title21-vol8/CFR-2001-title21-vol8-sec1050-10>

Uchida, T., & Kikuchi, T. (2013). Ultrasonic power measurement by calorimetric method using water as heating material. 2013 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), 1657-1660. <https://doi.org/10.1109/ULTSYM.2013.0422>

Van Der Windt, D. A. W. M., Van Der Heijden, G. J. M. G., Van Den Berg, S. G. M., Ter Riet, G., De Winter, A. F., & Bouter, L. M. (1999). Ultrasound therapy for musculoskeletal disorders: A systematic review. *Pain*, 81(3), 257-271. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(99\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(99)00016-0)

Zeqiri, B., Gelat, P., Barrie, J., & Bickley, C. (2007). A Novel Pyroelectric Method of Determining Ultrasonic Transducer Output Power: Device Concept, Modeling, and Preliminary Studies. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 54(11), 2318-2330. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2007.536>

La paradoja del éxito laboral y rendimiento académico en ingenieros

Alejandro Zapata Freeman¹, Magdalena Mendoza-Sánchez¹, Edwin Geovanny Vergara Ayala^{1*}

¹Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, C.U. Cerro de las Campanas s/n , Cp. 76010, Santiago de Querétaro, Querétaro, México.

Correspondencia: edwin.vergara@uaq.edu.mx

Resumen

La empleabilidad de un ingeniero industrial es un término que tiene relación con el rendimiento académico y el éxito profesional. La paradoja comienza cuando se dice que aquello que te hace conseguir cosas materiales, personales y profesionales dentro de tu entorno laboral, depende del nivel de conocimientos alcanzados en la etapa estudiantil, pero no hablamos de conocimientos aplicados al área sino de calificaciones obtenidas en una tarea, proyecto o examen final. Este artículo busca demostrar que el rendimiento académico no es una variable que determine si tienes éxito al momento de quererte insertar al mercado laboral. Este estudio se dividió en 2 partes, un análisis de la literatura en donde se revisaron más de 60 textos que se fueron filtrando hasta conservar los que resultaban más relevantes. También se realizó un caso de estudios en los que se encuestaron a 39 egresados de ingeniería industrial de la UAQ, centrándose en su situación actual y percepción de éxito profesional. Los resultados arrojaron que por parte de la literatura existen otras variables como desarrollo de habilidades blandas y técnicas, networking y experiencia previa profesional que inciden más en el alcance de éxito, aunado a esto, el caso de estudio presentó que el salario ($p=0.00$) y estatus de empleo ($p=.020$) tienen relación con el promedio a diferencia de la antigüedad y nivel jerárquico. En conclusión la realidad muestra que el éxito no depende en su totalidad del rendimiento académico, invitando a replantear como se evalúa el potencial de un ingeniero.

Palabras clave: Empleabilidad, rendimiento académico, éxito profesional, ingeniero industrial, paradoja,

Abstract

Employability of an industrial engineer is a term that is related to academic performance and professional success. The paradox begins when it is said that what makes you achieve material, personal and professional things within your work environment, depends on the level of knowledge achieved in the student stage, but we are not talking about knowledge applied to the area but about grades obtained in a task, project or final exam. This article seeks to demonstrate that academic performance is not a variable that determines whether you are successful when you want to enter the labor market. This study was divided into two parts: an analysis of the literature in which more than 60 texts were reviewed and filtered until the most relevant ones were retained. A case study was also carried out in which 39 UAQ industrial engineering graduates were surveyed, focusing on their current situation and perception of professional success. The results showed that according to the literature there are other variables such as development of soft and technical skills, networking and previous professional experience that have a greater impact on the achievement of success, in addition to this, the case study showed that salary ($p=0.00$) and employment status ($p=.020$) are related to the average as opposed to seniority and hierarchical level. In conclusion, the reality shows that success does not depend entirely on academic performance, inviting to rethink how the potential of an engineer is evaluated.

Key words: Employability, academic performance, career success, industrial engineer, paradox

Introducción

En el contexto actual, el desempeño académico y la educación formal son comúnmente vistos como claves para alcanzar el éxito profesional. Sin embargo, existe un fenómeno que pone en duda esta idea: individuos que, a pesar de no sobresalir en sus estudios, logran destacar y conseguir importantes logros en su carrera o emplearse de manera rápida y sencilla (Garcés et al, 2023). Este fenómeno puede ser observado en áreas como la ingeniería, donde la habilidad, para resolver problemas prácticos y adaptarse a las demandas del entorno laboral, podría ser más valiosa que el rendimiento académico. Lo que lleva a plantearse ¿cómo es posible que personas con bajo rendimiento académico logren emplearse con aparente sencillez y consigan tener éxito en el mundo profesional?

Primero que nada, es importante conocer que la empleabilidad, se puede entender como la capacidad de un individuo para acceder y mantenerse en el mercado laboral, sin embargo, no siempre está determinada por el rendimiento académico. De acuerdo con Carrillo et al., (2023) el éxito está relacionado con la capacidad de enfrentar dificultades y aprender de los errores. En este sentido, hay personas y organizaciones que prefieren evitar riesgos y aceptar los fracasos como parte del proceso hacia el éxito. Sin embargo, existe un enfoque contrastante en el que se opta por afrontar los problemas de manera proactiva, buscando soluciones y manteniendo una mentalidad abierta para la mejora continua.

Este contraste entre el rendimiento académico y el éxito profesional también se refleja en las estadísticas de titulación en México, donde de acuerdo con la última actualización del Anuario de Estadísticas de la Educación Superior realizada en 2024, en México han egresado un total de 140,903 personas de carreras relacionadas con la ingeniería y manufactura, de las cuales 126,776 han logrado titularse. En el caso específico de Querétaro, 4,822 personas se graduaron de carreras en esta área de concomitamiento, pero solo 4,657 de ellos obtuvieron su título profesional. Sin embargo, estas estadísticas no necesariamente

reflejan que su rendimiento académico y título, sean un factor determinante para el éxito profesional. Anqué la titulación es un paso importante para la formación de un ingeniero, no existen estudios suficientes que argumente si el desempeño en el campo laboral está relacionado con la trayectoria académica de aquellos que logran titularse.

En relación con lo anteriormente mencionado, existen estudios que han abordado el tema de la empleabilidad, mostrando distintos factores que influyen en la inserción laboral de los egresados. Por medio del estudio realizado por Pérez & Pinto (2020), se observó que la titulación juega un papel clave en este proceso, siendo aún más significativo cuando se obtiene a través del Examen General para el Egreso de la Licenciatura (EGEL), ya que este permite evaluar de manera objetiva el nivel de conocimientos y habilidades adquiridos por los graduados. Específicamente, se encontró que estar titulado tiene un coeficiente de 0.10 con un error estándar de 0.05, mientras que titularse por EGEL presenta un coeficiente de 0.1570 con un error estándar de 0.05. No obstante, si bien los resultados sugieren la importancia de titularse, no se identificó si el promedio final de licenciatura tuvo un impacto en este resultado.

Por su parte Tian & He (2024) analizaron el mismo factor considerando variables clave como consulta, planificación, toma de decisiones, implementación, inspección y evaluación. Estas etapas se integraron en un sistema de formación enfocado en desarrollar habilidades básicas, profesionales, integrales, productivas y prácticas laborales.

Estos estudios permiten entender mejor la relación entre los graduados y su formación, y así comprender mejor las necesidades del mercado laboral. Saltos et al, (2023) resaltan la importancia en que los profesionales desarrollen habilidades y competencias que les ayuden a desempeñarse de manera responsable en su trabajo. Estos estudios también permiten evaluar cómo los egresados logran integrarse al mercado laboral y participar en la sociedad.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo muestra que, en el último trimestre del 2024, Querétaro tuvo una tasa de empleabilidad del 60.4%, lo cual deja a entender que es uno de los estados en donde más de la mitad de su población es capaz de emplearse en el ámbito que sugiera cada persona, estando cada quien más cerca de alcanzar sus objetivos plasmado de manera profesional.

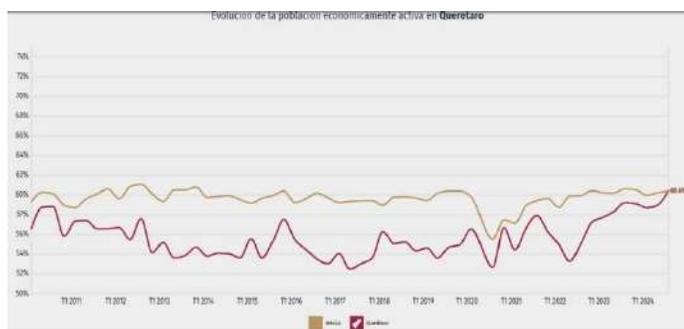


Figura 2. Población económicamente activa en Qro (ENOE, 2024).

El ser atractivo profesionalmente, implica haber desarrollado habilidades que distinguen al individuo de un cúmulo importante de personas que de igual manera busca la oportunidad de demostrar y aplicar los conocimientos adquiridos con anterioridad, con relación en algunos factores que pueden llegar a ser clave para el desarrollo profesional.

Factores clave en el desarrollo profesional

El avance profesional y la empleabilidad de los egresados en ingeniería, están influenciados por aspectos esenciales como la evaluación de sus habilidades en comparación con las competencias requeridas en la industria (Howell et al, 2022). Estos elementos, junto con el entendimiento de las demandas del mercado, sirven para mejorar el posicionamiento de los egresados en el ámbito laboral.

Habilidades técnicas y blandas

Desarrollar habilidades técnicas, conocidas como *hard skills*, son cruciales para el avance profesional. Estas competencias, adquiridas a través de talleres o cursos, se vinculan a los conocimientos específicos

que demanda la industria (Del Aguila et al., 2022). Dominar estas habilidades, permiten a los ingenieros no solo cumplir con las expectativas del mercado, sino también aumentar su competitividad.

Sin embargo, de acuerdo con Vera (2021), las habilidades blandas o *soft skills*, también juegan un papel clave en el ámbito profesional, pues desarrollar habilidades de comunicación clara y efectiva, así como una interacción respetuosa, es fundamental para una colaboración exitosa dentro de los equipos de trabajo.

Experiencia y redes

Así como el desarrollo de habilidades incrementa las posibilidades de emplearse, de acuerdo con Moreno (2020) la experiencia profesional previa a egresar, facilita la comprensión de la importancia del trabajo en equipo, planificación y toma de decisiones. Esta misma permite conectar con personas clave en el ámbito profesional, fortaleciendo una red de contactos estratégicos que favorecen el desarrollo profesional.

Desempeño académico

El rendimiento académico, refleja el nivel de aprendizaje alcanzado por estudiantes durante su formación, abarcando conocimientos, habilidades y valores (Navarro & Blandón, 2018). La manera más sencilla de cuantificar el desempeño académico, es por medio de las calificaciones obtenidas a lo largo del grado.

Con respecto a lo mencionado anteriormente, Rico & Gaytán (2022) proponen clasificar el rendimiento académico en carreras de ingeniería de la siguiente manera: bajo (<7.5), medio (7.5-8.5) y alto (>8.5). De igual manera, consideran el factor de reprobación (NA), clasificándolo en la escala de 0,1 o más de 2. Sin embargo, no se establece que este último indicador sea un reflejo de un buen o mal desempeño académico.

Actualmente, los procesos de desempeño académico del siglo XXI deben ser profundos, reflexivos y

críticos, ajustándose a las exigencias y cambios de un entorno dinámico (Bernate & Vargas, 2020). Esta evaluación, trae consigo, paradojas inherentes a la educación moderna, donde las expectativas y realidad del sistema educativo se contraponen entre sí.

EJE	CATEGORÍA
Fundamento & diseño	Contexto y propósito
	Condiciones para la operación
Estrategia de formación	Plan de estudio
	Trayectoria de formación
Gestión de formación	Personal académico
	Infraestructura
	Servicio de apoyo
Resultados del programa educativo	Resultados de aprendizaje de estudiantes y egresados
	Formación en modalidad escolarizada y mixta

Tabla 1 Categorías y ejes de un programa educativo (CIEES, 2024)

Paradojas en la educación

Las paradojas buscan argumentar mediante una lógica coherente, que se puede llegar a una contradicción inesperada. En el contexto educativo, Mora (2023) comenta que el estudio de estas paradojas permite a los estudiantes reflexionar sobre los conceptos clave de su especialidad, cuestionándose y comprendiendo mejor los fundamentos de su campo. Sin embargo, la educación se ha enfocado en proporcionar habilidades necesarias para el éxito académico y profesional, evaluando el progreso en función de su rendimiento dentro de paradigmas de éxito tradicional.

Éxito profesional

Ahora bien, la cuestión de éxito profesional es vista de muchas maneras por personas en similares o distintas circunstancias. Castaño & Páez (2020), mencionan que esto se puede medir tanto en términos de ingresos y ascensos dentro de la carrera, así, como en aquello que no se define por aspectos objetivos, sino por percepciones y valores de cada individuo que lo relaciona con sus metas y aspiraciones en relación

con sus condiciones de trabajo buscando garantizar bienestar y progreso considerando un salario adecuado, ambiente laboral seguro y favorable.

Métodos y Técnicas para Analizar la Empleabilidad

Como se ha mencionado con anterioridad, la presente investigación explora la influencia de la variable del rendimiento académico en el éxito profesional de los ingenieros. En este contexto, de acuerdo con Miranda (2021) el Análisis de Varianza (ANOVA), busca analizar como uno o varios factores, representados por variables categóricas, influyen en la variable de respuesta continua. Demostrando que sirve para investigar la relación entre los factores controlados en un experimento y una única variable.

Método

El estudio presenta un enfoque exploratorio, en donde (Galarza, 2020) han analizado la literatura desde diferentes perspectivas debido a la escasa información presente sobre el tema a investigar, sin embargo, existe el interés de analizar y comprender sus particularidades. Al ser un estudio que puede llegar a depender de una gran cantidad de variables, permite tener un análisis flexible en relación con los resultados a obtener.

Ahora bien, la investigación cuenta con un enfoque mixto donde se incluye la exploración de la literatura abordada por artículos relacionados con temas como la empleabilidad, éxito profesional y rendimiento académico. Por otro lado, se realizó un estudio mediante el uso de encuestas aplicadas a un grupo seleccionado de estudiantes y egresados de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Querétaro, permitiendo recopilar información y completar el análisis teórico con datos empíricos, mostrando una visión integral de la importancia del rendimiento académico aunado a su percepción del éxito profesional antes y después de ser empleados

Búsqueda de información

Dentro de la revisión de la literatura, se aplicaron filtros concretos para poder garantizar la relevancia de las fuentes consultadas. En este sentido, se consideraron únicamente estudios publicados de 5 años a la fecha. De igual manera, se utilizaron 3 motores de búsqueda principales: Scopus, Webofscience y ERIC, los cuales permitieron acceder a investigación con alta calidad. En referencia con los temas abordados, esos se alinearon con los ejes anteriormente mencionados, como lo fueron empleabilidad, rendimiento académico y éxito profesional, buscando establecer un marco teórico sólido.

En primera instancia se trabajó con el código: (employability) AND (academic performance) AND (professional success) AND (educational paradox) AND (industrial engineers), el cual arrojó un total de 58 resultados dentro de la base de datos SCOPUS, realizado esto se prosiguió a introducir un código más específico donde se mostraran los conceptos y palabras aún más relevantes de la investigación; el código fue el siguiente: (“employability” OR “employment outcomes” OR “job placement” OR “labor market insertion”) AND (“academic performance” OR “student achievement” OR “educational attainment”) AND (“professional success” OR “career advancement” OR “workplace performance”) AND (“educational paradox” OR “skills gap” OR “education-job mismatch”) AND (“industrial engineers” OR “engineering graduates” OR “engineering professionals”), en donde se redujo la búsqueda a escasos 20 resultados, por lo que se optó realizar un diagrama de coocurrencias con la herramienta VOSviewer como se muestra a continuación:

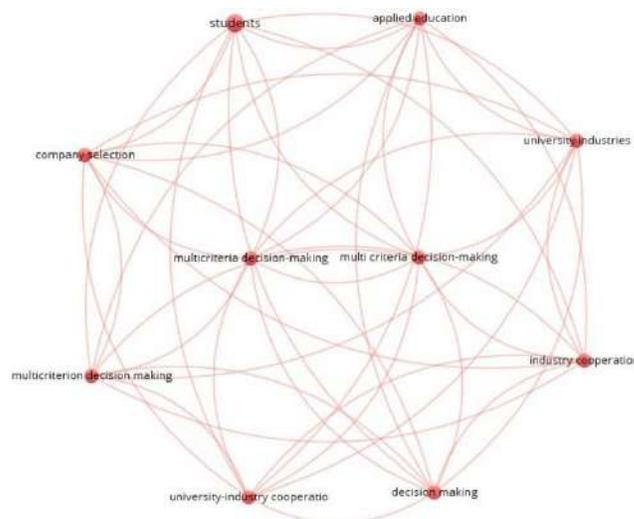


Figura 3. Diagrama de coocurrencias

Caso de estudio

Para el caso exploratorio, primero que nada, se definieron las variables a estudiar en donde la principal de estas fue el rendimiento académico (promedio final de licenciatura) buscando obtener relación en si es realmente un factor influyente para poder obtener un empleo y aspirar a ser exitoso profesionalmente (Mohd-Halid & Khalid, 2022). Con relación a lo anterior, para completar el análisis, se contemplaron otras variables como la red de contactos (networking), habilidades blandas y duras (soft and hard skills) y la percepción del éxito profesional.

Este estudio se aplicó a una muestra de 39 egresados del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Autónoma de Querétaro. La muestra incluyó a egresados con un máximo de 10 años desde su graduación, lo que permitió analizar sus trayectorias profesionales desde diferentes etapas de formación. El método de selección de los participantes se consideró mediante un muestreo aleatorio simple que permitiera garantizar una representación equitativa.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante la aplicación de una encuesta que sirvió para recopilar evidencia, registrar respuestas y producir estadísticas que facilitan la interpretación de resultados.

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) en donde se incluiría la variable independiente (rendimiento académico) y la variable dependiente (éxito laboral) representado por 4 conceptos base: salario, nivel jerárquico, antigüedad y estatus de empleo.

Con dicho análisis realizado, se incorporara un enfoque que busca clasificar el nivel de éxito de los participantes en tres categorías: bajo, medio y alto. Esto en relación a sus respuesta de para ellos que es éxito con su estado actual de vida-trabajo.

Resultados y discusión

Para poder analizar la influencia que tiene el desempeño académico sobre las variables asociadas al éxito profesional, se aplicó un ANOVA. A continuación se puede observar los resultados arrojados por el análisis:

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
 Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
 Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Rendimiento	3	ALTO, BAJO, MEDIO

Estatus empleo vs. Rendimiento

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Valor p				
Rendimiento	2	5.282	2.6410	4.38
0.020				
Error	36	21.692	0.6026	
Total	38	26.974		

Antigüedad vs. Rendimiento

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Valor p				
Rendimiento	2	3.891	1.9456	2.79
0.075				
Error	36	25.083	0.6968	

Total	38	28.974
-------	----	--------

Salario vs. Rendimiento

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Valor p				
Rendimiento	2	19.94	9.9723	15.52
0.000				
Error	36	23.13	0.6426	
Total	38	43.08		

Figura 4. Graficas de intervalo de variables dependientes vs Rendimiento académico

Nivel jerarquico vs. Rendimiento

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Valor p				
Rendimiento	2	0.3036	0.1518	0.49
0.616				
Error	36	11.1323	0.3092	
Total	38	11.4359		

De acuerdo con el análisis, se puede observar que el estatus de empleo en relación con el rendimiento tiene un efecto significativo pues mostro un valor $p = .020$, algo similar con la variable de salario que obtuvo un valor $p = 0.00$ que al ser menor al 0.05 se infiere que las personas con mejor promedio tienden a tener salarios más altos y mayores oportunidades de emplearse.

Sin embargo, en el contexto de poder mantenerse ya en el mismo lugar de trabajo o poder ir ascendiendo de posición, los resultados del análisis nos indican que no se puede asegurar que el promedio afecte directamente ambas variables principalmente al nivel jerárquico que obtuvo un valor $p = .616$

Con el fin de poder hacer más fácil la interpretación de los resultados, se utilizaron graficas de intervalos de confianza donde se muestra como varía la media de cada variable en relación con el rendimiento académico

Estas graficas muestran que aquellos con rendimiento ^(a) bajo suelen tener mejor salario y más antigüedad, lo que muestra una desalineación considerable en relación con el rendimiento académico. Por otro lado, el nivel jerárquico no tiene diferencia significativa entre niveles de rendimiento.

Para esclarecer los resultados, se realizó un diagrama de dispersión en donde a cada rango de respuesta se le asignó una codificación de variables categóricas para poderla evaluar en si eran poco, medianamente o muy exitosos.

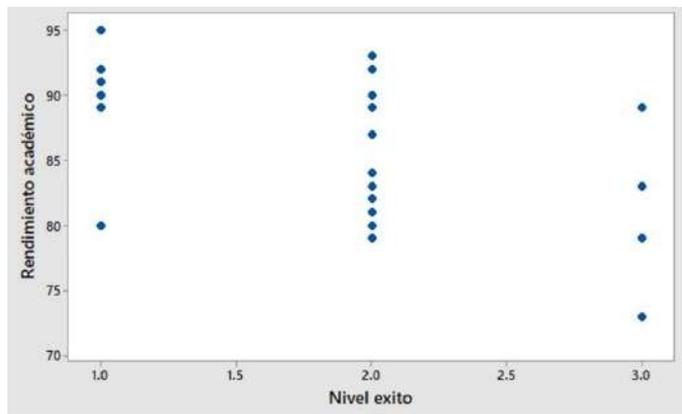


Figura 5. Diagrama de dispersión (Rendimiento académico vs Nivel de éxito)

Este rango fue determinado en relación a su respuesta de como percibían el éxito profesional con su actualidad, en donde se encontró que la mayoría de encuestados se encuentran medianamente exitoso siendo este un 69. 23% pues no cumplen con el rango más alto de respuesta posible pero tampoco están en malas condiciones, 12.82% fueron considerados exitosos y un 17.95% siendo poco exitosos.

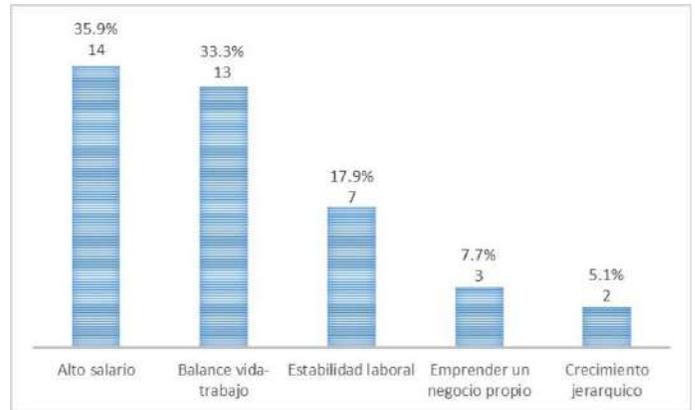


Figura 6. Percepción de éxito profesional para una muestra de 39 personas egresados de ingeniería industrial

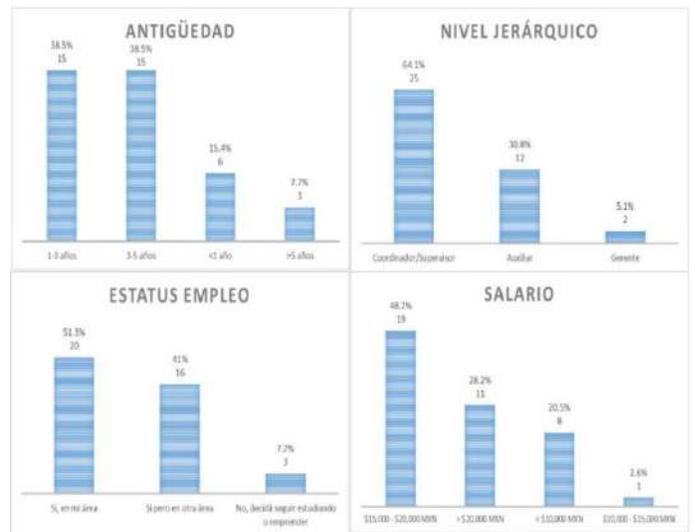


Figura 7. Variables en relación con el éxito profesional (variables dependientes)

Las gráficas permiten identificar que las variables que se presentaron con mayor frecuencia en ingenieros industriales fueron un antigüedad de 1-3 años, siendo supervisores/coordinadores, con un salario entre el rango de \$15,000-\$20,000 estando empleados en algo relacionado con su área de estudio. De igual manera un 35.9% de las personas encuestadas perciben el éxito como la obtención de un salario alto siendo este superior a los \$20,000 mensuales.

En términos cualitativos, como parte de la búsqueda de información, se obtuvo el siguiente análisis comparativo de la literatura, donde se hizo la relación con tres estudios que abordaban el tema en relación de empleabilidad, éxito profesional y rendimiento académico.

CITA	ESTUDIO	VARIABLE	HALLAZGO
Chompu et al, 2024	Analysis of knowledge and skills essential for industrial engineers in context of Industry 4.0 within Thai automobile sector	El estudio abarca dos rubros: conocimiento y habilidades. La primera variable la subdividen en materias básicas, de ingeniería y tecnología, mientras que el segundo rubro se enfoca a la capacidad de comunicación y pensamiento sistemático.	El estudio reveló que las empresas priorizan conocimiento y dominio de un idioma extranjero, temas de estadística y matemática, aplicación de tecnología, fundamentación básica de ingeniería.
Paoloni & Chiecher, 2023	Experiencias de formación y de inserción laboral de ingenieros: las voces de los protagonistas desde una investigación biográfica	Los factores que se consideraron en el estudio fue si existió alguna interrupción en sus estudios, posgrado, como se percibía la calidad de la institución y la dificultad para ingresar a laboral, pues la experiencia fue otra variable que intervino en la investigación	Con el estudio se identificó que de acuerdo a una población de más del 60% de egresados encuentran dificultad para emplearse por la falta de relación entre su formación académica y la práctica, pues no era lineal lo que aprendieron a lo que pedían en el mercado laboral
Soupeez, 2023	Engineering employability skills:	El estudio se basa en 3 principales variables: la	De los resultados más sobresalientes, se encuentra que para

Students, academics, and industry professionals perception	relación académica (calificaciones, título, cedula), habilidades tecnológicas y habilidades profesionales	emplearse influye más una persona titulada con experiencia profesional (45.3%) que una que no ha tenido la oportunidad de laboral (31.3%). Así como el manejo de herramientas básicas como herramientas de Microsoft, trabajar en equipo y ser autodidacta
--	---	--

Tabla 2. Análisis comparativo de la literatura

En los estudios analizados se menciona que la empleabilidad de los egresados en ingeniería industrial no se mide únicamente por el rendimiento académico y no se enfatiza en ser la variable con más peso de las analizadas, se habla de un conjunto de habilidades prácticas, tecnológicas y personales. La investigación realizada por Chompu et al, (2024) enfatiza en la importancia de contar con un perfil integral con una combinación de habilidades de comunicación, conocimientos técnicos y pensamiento analítico. Algo muy similar a lo mencionado por Soupeez (2023) donde habla de una combinación de experiencia profesional previa con el buen uso de herramientas y software.

Por otro lado, Paoloni & Chiecher (2023) hablan del abismo existente entre la formación escolar tradicional y las experiencias reales del mercado laboral, donde buscan enfatizar en el punto de que un título profesional ya no basta para poder insertarte al mercado laboral o tener éxito dentro del mismo si no viene acompañado de experiencia profesional previa y un nivel medio en habilidades técnicas y blandas.

Conclusión

Si bien este artículo toma relevancia principalmente porque no hay antecedentes de estudios que aborden el tema con objetivo de estudiar si el rendimiento académico influye considerablemente en el alcance de éxito ingenieros industriales.

La literatura demostró que existen otras variables más significativas como el desarrollo de habilidades tanto blandas como técnicas, y el contar con previa

experiencia profesional es algo que otorga esa distinción que se puede necesitar al momento de querer adquirir una oportunidad dentro del mercado laboral.

Por otro lado, con el caso de estudio realizado se encontró que la variable dependiente (éxito profesional) está relacionada de una u otra manera con nuestra variable independiente (rendimiento académico), sin embargo con los datos obtenidos se logró encontrar que de un total de 39 encuestados, un 66.8% obtuvieron promedio inferior a 85 en donde más del 90% están empleados con un salario promedio superior a los \$15,000 mxn. Aunado a esto, estos encuestados coincidieron en que las 3 principales clave para el éxito profesional son: red de contactos y habilidades técnicas/blandas.

La presente investigación permitió observar que el promedio obtenido durante la licenciatura, no es principalmente algo significativo en que te permita insertarte al mercado laboral y poder obtener éxito desde obtener un buen salario, hasta tener la oportunidad de ir escalando jerárquicamente a lo largo de los años dentro de la misma empresa. Este ha sido un paradigma que se ha popularizado diciendo que si no eres constante a lo largo de tu etapa estudiantil, el éxito profesional es algo que no puedes alcanzar. Sin embargo la realidad demuestra que este no está únicamente condicionado por este factor sino que también se construye, permitiendo abrir la posibilidad de replantear los criterios en cómo se mide la preparación y potencial de un futuro ingeniero industrial.

Referencias bibliográficas

- Bernate, J. A., & Vargas Guativa, J. A. (2020). Desafíos y tendencias del siglo XXI en la educación superior. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(2), 141-154.
- Carrillo Punina, A. P., Galarza Torres, S. P., Aguirre Casco, C., & Tipán Tapia, L. A. (2023). Cultura Organizacional: criterios de éxito en las instituciones de Educación Superior del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 120-131.
- Castaño Castrillón, J. J., & Páez Cala, M. L. (2020). Calidad de vida laboral percibida y competencias emocionales asociadas en profesionales jóvenes. *Informes psicológicos*, 20(2), 139-153. <https://doi.org/10.18566/infpsic.v20n2a10>
- Chompu-inwai, R., Wichajaroen, W. y Thaiupathump, T. (2024). Análisis de los conocimientos y habilidades esenciales para los ingenieros industriales en el contexto de la Industria 4.0 en el sector automovilístico tailandés. *Engineering and Applied Science Research*, 51(2), 186-199. Consultado en <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/easr/article/view/254592>
- Del Aguila-Alvarez, A. J., Rivas-Soto, L. A., & Cruz-Tarrillo, J. J. (2022). Competencias de Empleabilidad para Futuros Administradores Peruanos. *Comunicación: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*, 13(3), 201–212. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.13.3.732no>
- Farhadi Rad, H., Parsa, A., & Rajabi, E. (2020). Employability of Iranian Engineering Graduates: Influential Factors, Consequences and Strategies. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*, 11(1), 110-130.
- Galarza, C. A. R. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciaAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 9(3), 1-6. <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Garcés, D. A. P., Murillo, C. R. F., Robles, L. G. P., & Gutiérrez, S. P. Y. (2023). Factores que influyen en el desempeño académico universitario. *Reciamuc*, 7(1), 381-389.
- Howell, S., Hall, W., & Geelan, D. (2022). Exploring the perspectives of engineering undergraduates on employability and employability building activities. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 13(1), 161-178.
- Lyu, W., & Liu, J. (2021). Soft skills, hard skills: What matters most? Evidence from job postings. *Applied Energy*, 300, 117307. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117307>
- Miranda-Delgado, R. G. (2021). ¿Qué esperan los latinoamericanos de la democracia?. Un modelo de análisis de varianza (ANOVA). *Agenda Internacional*, 28(39), 97-118. <https://doi.org/10.18800/agenda.202101.00498>
- Mohd-Halid, N. H., & Mohd-Khalid, Z. (2022). Modeling graduate employability in Malaysia using logistic regression. *Proceedings of Science and Mathematics*, 9, 1-11.
- Mora-Ramirez, R. F. (2023). Uso de las paradojas como recursos didácticos que desarrollan el pensamiento crítico en los estudiantes. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (35), 249-279. <https://doi.org/10.17163/soph.n35.2023.08>

Moreno, J. D. A. (2020). Primera fase: la incidencia del capital intelectual y “networking”, sobre la capacidad emprendedora de los ingenieros industriales, egresados de univetec-fm (2007 y 2008). *Economía y Administración (E&A)*, 11(1), 53-66.

Navarro Hudiel, S. J., & Blandón Navarro, S. L. (2018). Determinantes que inciden en la calidad de rendimiento académico de los estudiantes de ingeniería. *Revista Científica Estelí*, (24), 126–142. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5556>

Paoloni, Paola Verónica, & Chiecher, Analía Claudia. (2013). Experiencias de formación y de inserción laboral de ingenieros: las voces de los protagonistas desde una investigación biográfica. *Innovación educativa (México, DF)*, 13(61), 22-44. Recuperado en 03 de abril de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732013000100003&lng=es&tlng=es.

Pérez Cruz, O. A., & Pinto Pérez, R. (2020). Determinantes de la inserción laboral en egresados universitarios en México. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.732>

Rico Páez, A., & Gaytán Ramírez, N. D. (2022). Modelos predictivos del rendimiento académico a partir de características de estudiantes de ingeniería. *IE Revista De Investigación Educativa De La REDIECH*, 13, e1426. https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v13i0.1426

Saltos, B. R. P., Garzás, J., Redchuk, A., & Jaramillo, I. F. (2023). Medición del éxito profesional a graduados de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 29(2), 432-443.

Soupepe J-BR.(2023) Engineering employability skills: Students, academics, and industry professionals perception. *International Journal of Mechanical Engineering Education*. ;53(1):125-142. doi:10.1177/03064190231214178

Tian, J., & He, G. (2024). Research on innovative teaching to enhance the employability of college students based on the “five Links and Six steps” method. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(5), 102677. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102677>

Vera, F. (2021). Competencias blandas para la fuerza laboral del siglo XXI. *Transformar*, 2(2), 20-29.

Yuni, José Alberto, & Urbano, Claudio Ariel. (2018). Resonancias y paradojas de la Educación: notas para hablar en nombre de ella. *Praxis educativa*, 22(2), 78-93. <https://dx.doi.org/10.19137/praxiseducativa-2018-220208>

Redes Peatonales Accesibles con Restricciones Geométricas Modeladas Mediante Grafos

Christopher Daniel Herdin¹, Mario Trejo Perea¹, José Gabriel Ríos Moreno¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

cherdin27@alumnos.uaq.mx, mtp@uaq.mx, riosg@uaq.mx

Resumen

El presente trabajo aborda el problema de diseñar algorítmicamente una red de rutas peatonales accesibles para personas en sillas de ruedas, dado un conjunto de puntos de acceso localizados en el espacio y el tráfico de peatones entre cada par distinto de puntos. Propone como prueba de concepto un algoritmo iterativo constructivo de geometría, con el objetivo de priorizar conexiones de alto tráfico minimizando la distancia, sujeto a las restricciones geométricas de caminos accesibles que especifican diferentes normativas de construcción. Para esto toma la red dada como un grafo no direccionado con peso igual a la distancia cartesiana de cada arista y prioridad igual al tráfico de peatones sobre la arista. Elimina del grafo aristas no viables de acuerdo a las restricciones, poda el grafo tomando cada arista y buscando si hay una ruta alterna que no incrementa la distancia entre dos nodos más que un factor de desviación permisible, construye rampas sobre aristas viables, situando nodos nuevos en descansos, e iterativamente muta la estructura del grafo conectando nuevos nodos con viejos mediante aristas, hasta que se cumple la condición que indica que, en todas las componentes del grafo, los nodos miembros de esas componentes están conectados por caminos accesibles, y que los componentes no se pueden conectar. El desempeño del algoritmo se revisa visualmente, observando las diferencias que producen diferentes cambios en los factores que lo componen.

Palabras clave: Optimización, teoría de grafos, automatización, restricciones geométricas, accesibilidad.

Abstract

We address the problem of designing a pedestrian network accessible to wheelchair users given a set of spacially located access points and the expected pedestrian traffic between every pair of distinct points. We propose as a proof of concept an iterative rule-based constructive algorithm, which prioritizes high traffic node pairs minimizing travel distance between them, subject to the geometric constraints that different building codes specify for accessible path design. For this, the network is considered as an undirected graph with edge weight equal to the cartesian distance of an edge and edge priority equal to the pedestrian traffic of the edge. We eliminate edges that, in accordance to the geometric constraints, are non-buildable, we prune edges that have an alternate shortest route with distance no greater than a permissible deviation factor, we build new ramps over viable edges placing new nodes in ramp rests, and we iteratively mutate the graph structure, connecting new nodes with previous ones with edges, until the condition that in all components of the graph all nodes are connected with built edges is met, and that the components themselves cannot be connected. We measure the algorithm's performance visually, observing the differences in output that different changes in the input produce.

Keywords: Optimization, graph theory, automatization, geometric constraints, accessibility.

Introducción

Para que una ruta sea cómodamente transitable para personas discapacitadas, se requiere de un seguimiento de normas de construcción dedicadas al tema, como lo es la Norma de Accesibilidad del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) en conjunto con la Secretaría de Educación Pública (SEP) (INIFED, 2014). Esta norma específica, entre otras cosas, lo siguiente:

- Pendientes máximas para rampas de 6%.
- Longitudes máximas para rampas de 6 metros.
- Descansos de al menos 1.5 m de longitud a ambos extremos de cualquier rampa.

Las especificaciones pueden diferir entre diferentes normas. El Manual de Normas Técnicas de Discapacidad del Gobierno de la Ciudad de México (CDMX, 2016) demanda lo siguiente:

- Rampas menores a 6 m tendrán una pendiente máxima de 8%, y rampas menores a 10 m una pendiente máxima de 6%.
- Descansos a ambos extremos de cualquier rampa de al menos 1.2 m de longitud, aunque se recomienda de 1.5 m.
- Pasillos con desniveles de hasta 0.3 m y pendientes menores a 4% no se consideran rampas, y por lo tanto no requieren de pasamanos.

Ambas normas prohíben la implementación de rampas con diseño curvo.

Sin embargo, para proporcionar al usuario mayor comodidad, el cumplir con las normas para las rutas peatonales accesibles es solamente un paso, el otro siendo el posicionamiento adecuado y eficiente de estas mismas. Nuestra definición de una rampa bien planeada es que esté situada de forma accesible para que un peatón que no tenga discapacidad alguna se vea invitado a usarla porque lo acerca a su destino horizontalmente a la par de verticalmente, en vez de alejarlo de su destino. Es decir, si el peatón tiene un destino en mente, el utilizar una rampa bien planeada será una consideración viable a la hora de que este busque una ruta optimizada (léase corta) para llegar a tal destino.

Esto lo definimos así porque entre más cercano esté el peatón de su meta, más probable es que escoja la ruta más corta para llegar a ella (Bongiorno et al., 2021). En especial si la meta está visiblemente delante de un peatón y tiene relativa prisa, tiende a ir hacia ella en línea recta en la medida de lo posible y lo cómodo, en algunos casos incluso si esto involucra bajarse de un andador, irse sobre el pasto o jardineras, o cruzar la calle donde no hay un cruce peatonal (Rasouli, 2021).

Comúnmente se ve en espacios públicos que las rampas para discapacitados son elementos aparte de las vías de comunicación peatonal principales. Esto surge cuando las rampas no son diseñadas durante el proyecto, sino como un *addendum* posterior, y se implementan donde menos estorben. Esto resulta en que las rampas no se ajusten al diseño arquitectónico inicial, en que haya una vía de comunicación duplicada e ineficiente y en que la rampa no sea utilizada más que por discapacitados. Usuarios en silla de ruedas valoran más una mayor accesibilidad de la ruta que una menor distancia (Kasemsuppakorn, 2014), pero requieren que la opción accesible sea legible y que puedan reconocer que le hay para tomarla (Beale et. al., 2013).

Una rampa de accesibilidad bien diseñada será utilizada tanto por peatones como por discapacitados, ya que, al ser bien diseñada, transitarla generará una reducción en la distancia entre el usuario y su destino, y será legible como una opción para usuarios en sillas de ruedas. Por lo tanto, se vuelve una ruta deseable a tanto peatones como discapacitados al ser la ruta más eficiente para ambos, en cuyo caso también puede ser la única ruta, con el ancho suficiente, optimizando espacios. Mejor aún es si logramos diseñar el proyecto con la menor cantidad de rampas posible, implementando donde se pueda andadores, pues las rampas obligatoriamente deben llevar barandales, lo cual incrementa la saturación visual y la carga semiótica de un ambiente, disminuyendo su legibilidad (Raj & Patil, 2023).

Combinar el diseño para discapacitados y el diseño para usuarios comunes en una sola ruta es un ideal que no siempre se puede realizar por motivos de dimensionamiento de los espacios. En muchos proyectos de dimensiones limitadas, las escaleras se

vuelven un elemento necesario para reducir el área en planta perdida por espacios de circulación, y la rampa se tiene que poner donde no estorbe.

Teniendo esto en mente, nuestro modelo tiene la meta de eficientar conexiones de alto tráfico reduciendo la distancia necesitada para transitar estas conexiones, con las restricciones geométricas propias de normas de accesibilidad para estas conexiones, aplicado a proyectos de dimensiones medias a grandes. Para la simplificación de este algoritmo, se tomará cualquier pasillo con pendientes menores o iguales al 3% como andadores, sin restricción vertical.

El planteamiento general del algoritmo es el siguiente:

Primero tomamos los puntos en el espacio origen-destino dados como vértices, y para cada par de vértices una arista con el tráfico dado. Teniendo estos datos, se hace lo siguiente:

- 1.) Completamos el grafo añadiendo una arista con tráfico igual a cero para cada par de vértices que no tengan conexión directa mediante una arista preexistente.
- 2.) Clasificamos cada arista como “andador”, “rampa” o “ninguno” en base de su geometría y pendiente.
- 3.) Eliminamos aristas clasificadas como “ninguno”, ya que estas no se pueden implementar.
- 4.) Checamos todos los nodos iniciales; si todos están conectados entre sí por rutas “construidas” (la geometría de cuyas aristas haya sido generada), o si los nodos iniciales no conectados tampoco están conectados por aristas sin construir, entonces se finaliza el programa. De lo contrario, continuamos.
- 5.) Simplificamos el grafo eliminando la ruta más corta entre cada par de nodos si la segunda ruta más corta no incrementa la longitud transitada más que la longitud inicial por un factor de desviación.
- 6.) Si existen, “construimos”, o generamos la geometría, de cada arista que no se intersecta con otra sobre una vista en planta, donde si es “rampa”, en cada descanso se crea un nuevo nodo del grafo.

7.) Si existe, construimos la arista de tráfico más alto que no intersecte con alguna arista ya construida sobre una vista en planta.

8.) Ajustamos la sensibilidad y repetimos pasos 1 a 7 hasta que la condición del paso 4 sea cumplida.

Las especificaciones técnicas del algoritmo son las siguientes:

Con base en las normas de construcción, sea

- p_a la pendiente máxima de andadores (3%),
- p_r la pendiente máxima de rampas (6%),
- l_r la longitud máxima de rampas (600 cm), y
- l_d la longitud mínima de descansos (150 cm).

Al algoritmo es dado un sistema que consiste en un conjunto de puntos cartesianos que representan vértices de entrada y salida, y el tráfico de peatones que se espera entre cada par de puntos distintos. Asumimos que no hay congestión. Para un grafo completo el modelo de asignación todo o nada producirá aristas directas entre cada nodo con el valor tráfico de la matriz origen-destino.

Sea

- V un conjunto de vértices que representan un punto de entrada/salida, cada uno con coordenadas (x_v, y_v, z_v) ,
- E el conjunto de cada par no ordenado de vértices $\{u, v\}$ con tráfico de peatones inicial t_{uv} ,
- $t_t = \sum_{(u,v) \in E} t_{uv}$ el tráfico total del sistema.
- H un conjunto, por ahora vacío, de “grupos” a los que puede pertenecer una arista,
- E'_c un conjunto, por ahora vacío, de aristas construidas,
- $l_{uv} = \sqrt{(x_v - x_u)^2 + (y_v - y_u)^2}$,
- $\Delta h_{uv} = |z_v - z_u|$

Para esto consideramos el modelo como un grafo no dirigido $G = (V', E')$, donde inicialmente $E' = E$, $V' = V$.

Para el paso 1, nos aseguramos que G permanece conectado completando el grafo, donde se añade una arista a cada par de vértices distintos que no están ya conectadas por un vértice, y donde todas las aristas añadidas $\{u, v\}$ tienen $t_{uv} = 0$.

Para el paso 2, definimos “andador” y “rampa” como aquellas aristas en las que por su l_{uv} , Δh_{uv} se puedan construir andadores o rampas, respectivamente, de acuerdo a las restricciones de las normas.

Como hay que considerar un descanso a la entrada de cada nodo, la distancia efectiva de una arista se reduce a $l - 2l_d$. Para que una arista sea “andador”, tiene que cubrir la diferencia de altura Δh en la distancia efectiva sin sobrepasar la pendiente máxima de andadores. Es decir, una arista es “andador” si, y sólo si

$$\frac{\Delta h_{uv}}{l_{uv} - 2l_d} \leq p_a, \quad l_{uv} > 2l_d$$

Si se incumple la condición anterior, se checa si es “rampa”: si en $\{u, v\}$ se pueden implementar rampas, la longitud total necesaria de rampas sería

$$r = \frac{\Delta h_{uv}}{p_r}.$$

Pero no podemos tener rampas continuas más largas que l_r . r se tiene que dividir en segmentos. Sea

$$s = \left\lceil \frac{r}{l_r} \right\rceil$$

el número de segmentos de rampa necesarios. Entre cada segmento se tiene que tener un descanso, además de un descanso al inicio y al final de $\{u, v\}$, es decir, $k + 1$ descansos. Luego, $\{u, v\}$ es “rampa” si, y sólo si

$$r + (s + 1)l_d \leq l_{uv}.$$

Si una arista no cumple ninguna de las dos condiciones anteriores, es “ninguno” y es quitado de E' en el paso 3.

Para el paso 4, pasadas dos iteraciones, si en cada componente conexo de G cada miembro de los vértices entrada/salida iniciales V miembros de un componente se encuentra conectado a cada otro miembro de V del mismo componente por rutas en E'_c , o si todo miembro de V que no cumple con esta condición es un vértice aislado, entonces se termina el algoritmo. En caso contrario, continuamos.

Para el paso 5, sea el factor de desviación de una arista $\{u, v\}$

$$f_{uv} = \begin{cases} \infty, & t_{uv} = 0 \\ \left(\frac{t_t}{t_{uv}}\right)^k, & t_{uv} > 0 \end{cases}$$

donde el exponente k ajusta la sensibilidad. Se toma la relación entre el tráfico total y el tráfico de una sola arista para que $f_{uv} \propto \frac{1}{t_{uv}}$.

Si existe $\{u, v\}$, encontramos la segunda ruta más corta entre u, v en G , $P'_{u \rightarrow v}$, de longitud d'_p , eliminando de un grafo temporal la ruta más corta entre u, v , que es $\{u, v\}$ misma. Las rutas más cortas las encontramos por Dijkstra o A*, con peso $w_{ij} = l_{ij}$.

Si $d'_p \leq f_{uv}l_{uv}$, entonces

- se elimina $\{u, v\}$ de G ,
- se agrega t_{uv} al tráfico de cada arista en $P'_{u \rightarrow v}$.

Repetimos este proceso para cada arista, en el siguiente orden de prioridad:

- $t_{uv} \neq 0$ (tráfico nulo tiene mínima prioridad),
- $\{u, v\}$ es “rampa” (mayor prioridad),
- t_{uv} (mayor tráfico, mayor prioridad),
- l_{uv} (mayor longitud, mayor prioridad).

Para el paso 6, la orientación de un conjunto ordenado de tres puntos en dos dimensiones (p_1, p_2, p_3) puede ser en sentido del reloj, contra el sentido del reloj, o colinear. Para un caso general de no colinearidad, dos aristas $\{u, v\}$, $\{u', v'\}$ se intersectan sobre la proyección x - y si

- (u, v, u') y (u, v, v') tienen orientación distinta, y
- (u', v', u) y (u', v', v) tienen orientación distinta.

Habiendo la posibilidad de colinearidad, dos aristas también se intersectan si

- (u, v, u') , (u, v, v') , (u', v', u) , (u', v', v) son colineales, y
- (u, v) y (u', v') intersectan sobre la proyección de x y de y .

Sea una lista ordenada L con los mismos miembros que E' , de longitud n . Sea L_i la proyección en x - y de la arista i , miembro de la lista L . Para toda i , si L_i intersecta alguna de $L_{i+1}, L_{i+2}, \dots, L_n$, se marcan L_i y aquella con la que intersectó como “intersectantes”.

Si intersectó con una arista miembro de E'_c , la eliminamos.

Para toda arista $\{u, v\}$ sin marcarse “intersectante”, revisamos si son miembros de un mismo grupo en H . Si es que no, procedemos a “construir” la arista.

“Construir” consiste en lo siguiente:

Sea g_{pq} la función que, siendo p y q puntos en el espacio, regresa las coordenadas x, y de un punto a al final de un segmento (p, a) de una longitud dada l_a con la misma dirección que (p, q) . Esto es, la función de interpolación

$$g_{pq}(l_a) = \left(x_p + \frac{l_a}{l_{pq}}(x_q - x_p), \right. \\ \left. y_p + \frac{l_a}{l_{pq}}(y_q - y_p) \right)$$

La longitud total necesaria de rampa es r , y el número de segmentos s . Sean S los segmentos rampa-descanso. En dirección de u a v , construimos primero el descanso inicial de longitud l_d .

La rampa de cada segmento S_i , excepto S_s , tendrá una longitud

$$S_{i_r} = l_r,$$

y S_s una longitud

$$S_{s_r} = r \bmod l_r,$$

donde mod es el operador de módulo. De este modo se cumple que la longitud total de rampas es r .

El descanso de cada segmento S_i , excepto S_s , tendrá una longitud

$$S_{i_d} = l_d,$$

y S_s una longitud

$$S_{s_d} = l_{uv} - l_d - \sum_{i=1}^{s-1} (S_{i_r} + S_{i_d})$$

Entonces, tomando u como el nodo a menor altura en z , las coordenadas x, y de los puntos de quiebre descanso-rampa y rampa-descanso q son C_{uv} .

$$q_{1_{xy}} = g_{uv}(0), \quad q_{2_{xy}} = g_{uv}(l_d), \\ q_{3_{xy}} = g_{uv}(l_d + S_{1_r})$$

$$j = 2, 3, \dots, s,$$

$$\forall j, \quad q_{2j_{xy}} = g_{uv} \left(l_d + \sum_{i=1}^{j-1} (S_{i_r} + S_{i_d}) \right)$$

$$\forall j, \quad q_{2j+1_{xy}} = g_{uv} \left(l_d + \sum_{i=1}^{j-1} (S_{i_r} + S_{i_d}) + S_{j_r} \right)$$

y las coordenadas en z

$$q_{1_z} = q_{2_z} = u_z, \quad q_{3_z} = u_z + p_r S_{1_r}$$

$$\forall j, \quad q_{2j_z} = q_{2j+1_z} = u_z + p_r \sum_{i=1}^{j-1} S_{i_r}$$

Se hace un nuevo grupo H_{uv} en H , y $u, v \rightarrow H_{uv}$.

Además, en la mitad de cada descanso, sin incluir el primero o el último, se agregará un nuevo vértice $v_k \rightarrow V'$ y $v_k \rightarrow H_{uv}$ con coordenadas

$$(v_{k_x}, v_{k_y}) = g_{uv} \left(l_d + \sum_{i=1}^{k-1} (S_{i_r} + S_{i_d}) + S_{k_r} + \frac{S_{k_d}}{2} \right) \\ v_{k_z} = \sum_i^k p_r S_{i_r}$$

Creamos las aristas

$$\{u, v_1\}, \{v_1, v_2\}, \dots, \{v_{k-1}, v_k\}, \{v_k, v\} \rightarrow E', E'_c,$$

cada una con tráfico $\frac{t_{uv}}{k}$; las hacemos miembros de un grupo $H_{uv} \rightarrow H$, y eliminamos la arista $\{u, v\}$.

Finalmente, para el paso 7, escogemos la arista que en el orden de prioridad del paso 5 sea la más alta, si existe, y la “construimos” también, de acuerdo al procedimiento del paso 6.

Repetimos los pasos del 1 al 7 hasta cumplirse la condición del paso 4. Después de cada repetición se actualiza $k \rightarrow \lambda + k$ para el cálculo del factor de desviación, donde λ controla el grado de incremento en k durante cada iteración.

Método

El programa se trabajó en el lenguaje de programación de Python, con ayuda de la librería

NetworkX (Hagberg, 2008) y Matplotlib (Hunter, 2007).

Para $k = \lambda = 0.05$, se introdujeron varios grafos en formato json, cada uno con ciertas particularidades para probar la eficacia con que el algoritmo las maneja.

El Grafo I es un conjunto de seis nodos con coordenadas especificadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Nodos del Grafo I

Nodo	Coordenadas [cm]		
	x	y	z
A	0	0	30
B	0	500	10
C	1000	0	50
D	2000	500	100
E	-300	-1000	-20
F	1000	1000	0

En un rango de 30 metros con tráfico semialeatorio y diferencias de altura no mayores a un metro (Tabla II).

Tabla 2. Matriz O-D del Grafo I

	A	B	C	D	E	F
A	0	300	300	200	0	50
B	300	0	100	0	0	0
C	300	100	0	0	0	50
D	200	0	0	0	400	0
E	0	0	0	400	0	0
F	50	0	50	0	0	0

El Grafo II es un conjunto de seis nodos con las mismas coordenadas en xy que el grafo I pero diferentes coordenadas z (Tabla 3), con tráfico semialeatorio y diferencias de altura considerables.

Tabla 3. Coordenadas en z de los nodos del Grafo II

Nodo	A	B	C	D	E	F
z	-50	100	400	0	-100	50

El grafo III es el mismo que el I, pero el único tráfico está asignado de los nodos ‘A’ a ‘D’, con un valor de 1000.

Finalmente, se introdujo un grafo IV de tamaño sustancioso, en un rango de 100 metros, con un cúmulo de nodos de mayor densidad en el centro, y varios nodos dispersos a mayor distancia, con tráfico semialeatorio. Para este último se dieron diferentes valores para k del factor de desviación f para comparar los resultados. El rendimiento del algoritmo se evaluó visualmente.

Resultados

A continuación se muestra el Grafo I inicial, las iteraciones que tomó el algoritmo, y el resultado. Tomó ocho iteraciones, en donde de la segunda hasta la séptima quedó atorado en un estado donde no podía reemplazar una arista que intersectaba con otra ya construida porque k no era lo suficientemente alto para que la ruta se pudiera desviar. Hasta la octava se logró (Figuras 1-3). El resultado se puede ver en la Figura 4.

Espacio en blanco para Figuras 1 a 3

Figuras 1-3. Visualización 2D del grafo I inicial, iteración dos (que se ve igual a las iteraciones 3–7), e iteración 8. Fuente: Elaboración propia.

Espacio en blanco para Figura 4

Figura 4. Visualización 3D de la iteración 8. Fuente: Elaboración propia.

En el Grafo II, no todos los nodos lograron conectarse ni se pudo construir completamente por las diferencias de altura.

Espacio en blanco para Figuras 5 y 6

Figuras 5 y 6. Visualización 3D del grafo II inicial y final. Fuente: Elaboración propia.

En el Grafo III, en las Figuras 7 y 8 observamos que, porque cambiamos substancialmente la disposición del tráfico, el orden de “construcción” de las aristas diferenció del Grafo I (Figura 3), lo cual genera un resultado final distinto.

Espacio en blanco para Figuras 7 y 8

Figuras 7 y 8. Visualización 2D del grafo II inicial y final. Fuente: Elaboración propia.

Para el Grafo IV, se presenta en las figuras 9 y 10 el grafo inicial, y en las figuras 11 y 12 el grafo final para el k ahí nombrados. Para esto, se consideró $\lambda = k$.

Espacio en blanco para Figuras 9 y 10

Figuras 9 y 10. Visualización 2D del grafo II inicial y final. Fuente: Elaboración propia.

Espacio en blanco para Figuras 11 y 12

Figuras 11 y 12. Visualización 2D para $k = 0.05$ y $k = 5$. Fuente: Elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Podemos observar de los dos resultados del Grafo IV (Figuras 11, 12) que no se generan grandes diferencias para diferentes k . Para una k alta, el método de remplazo de aristas es más agresivo, pero el orden en el que se realiza el remplazo es el mismo, basado en el tráfico. En cambio, se notó una diferencia mayor entre los resultados del Grafo I (Figura 3) y el Grafo IV (Figura 8). Esto nos indica que la disposición de la matriz O-D tiene un efecto mayor en el resultado final que la magnitud de k .

Con el Grafo II (Figuras 5 y 6) podemos observar que, como esperado, diferencias verticales grandes en los nodos sin suficiente espacio horizontal para cubrir las diferencias genera un grafo deficiente, porque las aristas no pueden cumplir con las restricciones geométricas.

Aquí está la limitación principal de nuestro algoritmo, que requiere amplio espacio para generar resultados interesantes. Si en una arista no se cumplen las restricciones geométricas, esto puede ser por poco — en cuyo caso podríamos diseñar manualmente rampas que dirijan de un nodo a otro eficazmente, con una leve desviación para incrementar la longitud del camino lo suficiente para que la distancia necesaria de rampas se vea cumplida— o por mucho —en cuyo caso, implica no solamente que se requiere de intervención humana porque los espacios son reducidos, sino también, de acuerdo a lo discutido anteriormente, que no existe una manera satisfactoria de resolver la rampa de manera que sea la ruta óptima tanto para un peatón como para un discapacitado. Para un peatón será innecesario trasladarse por rampas largas para cubrir una diferencia de alturas, porque le es más orgánico usar escaleras.

Algunas áreas de oportunidad son que el método con el que aristas son podadas del grafo puede tener en

cuenta una mayor sección del grafo. En una siguiente iteración se podría utilizar el índice de robustez (Scott, 2005) para determinar si una arista es quitada o dejada.

Los grafos que produce nuestro algoritmo no son muy densos, como pudimos observar de las figuras. Añadir nodos intermedios en los andadores, tal como se hace para las rampas, podría incrementar la flexibilidad de nuestro producto final y generar caminos andables más orgánicos.

Podemos concluir que este algoritmo sirve para generar diseños interesantes de rampas, a partir de los cuales el diseñador podrá hacer un trabajo mucho más completo. Por lo pronto no resuelve el grafo de manera óptima dada la información, pero es una prueba de concepto que mezcla teoría de grafos con restricciones geométricas basadas en normas de construcción.

Referencias

- Al-Qura University for Engineering and Architecture, 14, 212–225. doi: 10.1007/s43995-023-00031-3
- Beale, L., Field, K., Briggs, D., Picton, P., & Matthews, H. (2006). Mapping for Wheelchair Users: Route Navigation in Urban Spaces. *The Cartographic Journal*, 43(1), 68–81. <https://doi.org/10.1179/000870406X93517>
- Bongiorno, C. et al. (2021). Vector-based pedestrian navigation in cities. *Nature Computational Science*, 1, 678–685. doi: 10.1038/s43588-021-00130-y
- Gobierno de la Ciudad de México. (2016). Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad. Recuperado de <https://indiscapacidad.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/597134/bf6/597134bf6774d274440550.pdf>
- Hagberg, A., Schult, D., Swart, P. (2008). Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. *Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008)*. 7, 11–15. Recuperado de http://conference.scipy.org.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/proceedings/scipy2008/paper_2/full_text.pdf
- Hunter, J. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. doi: 10.1109/MCSE.2007.55
- INIFED. (2014). Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones. Volumen 13: Habitabilidad y Funcionamiento. Tomo II: Norma de Accesibilidad. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/89279/Tomo2_Accesibilidad.pdf

Kasemsuppakorn, P., Karimi, H. A., Ding, D., & Ojeda, M. A. (2014). Understanding route choices for wheelchair navigation. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(3), 198–210. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.898160>

Raj, M. & Patil, D. (2023). Semiotics in architecture of public spaces: contemporary city-centers; case of Bangalore, India. *Journal of Umm*

Rasouli, A. (2021). Pedestrian Simulation: A Review. Noah's Ark Laboratory. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/2102.03289>

Scott, D., Novak, D., Aultman-Hall, L., Guo, F. (2005). Network Robustness Index: A New Method for Identifying Critical Links and Evaluating the Performance of Transportation Networks. *Centre for Spatial Analysis*.

EcoMuros: Innovación Estructural con Vidrio Reciclado

Daniel Gil Tello

Ernesto Ortiz Gudiño

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro.

dgil23@alumnos.uaq.mx , eortiz37@alumnos.uaq.mx

Resumen

El artículo aborda la problemática del desecho de vidrio y su impacto ambiental que este puede llegar a generar, proponiendo así su reutilización en la fabricación de bloques de construcción sostenibles. A partir de una hipótesis que plantea la viabilidad técnica de crear un material resistente y funcional a partir de vidrio reciclado y aglutinantes como el cemento, se analiza su comportamiento mecánico, resistencia estructural y compatibilidad con la normativa. Se revisa el estado del arte sobre el uso del vidrio en la construcción, evidenciando mejoras en la resistencia a compresión y reducción de la porosidad con proporciones óptimas de vidrio. Además, se detallan fórmulas estructurales fundamentales basadas en normativas mexicanas, necesarias para garantizar la seguridad de los muros fabricados con estos bloques. Finalmente, se expone una metodología práctica para la elaboración de los bloques, desde la recolección del vidrio hasta el curado del producto final, destacando su potencial como solución ecológica, económica y estructuralmente segura para edificaciones de baja complejidad.

Palabras Clave: Bloque de vidrio reciclado, Material reciclado, Sustentabilidad, Innovación en materiales, Construcción sostenible.

Abstract

The article addresses the issue of glass waste and its potential environmental impact, thus proposing its reuse in the manufacture of sustainable construction blocks. Based on a hypothesis that suggests the technical feasibility of creating a resistant and functional material from recycled glass and binders such as cement, its mechanical behavior, structural strength, and compliance with regulations are analyzed. The state of the art regarding the use of glass in construction is reviewed, showing improvements in compressive strength and reduction in porosity with optimal glass proportions. In addition, fundamental structural formulas based on Mexican regulations are detailed, which are necessary to ensure the safety of walls built with these blocks. Finally, a practical methodology for the production of the blocks is presented, from glass collection to the curing of the final product, highlighting its potential as an ecological, economical, and structurally safe solution for low-complexity buildings.

Keywords: Recycled glass block, Recycled material, Sustainability, Innovative materials, Sustainable construction.

Introducción

En el contexto actual de crisis ambiental y creciente demanda de recursos, el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos representa un desafío urgente. El vidrio, a pesar de ser un material 100 % reciclable, continúa acumulándose en vertederos debido a la falta de infraestructura y conciencia sobre su reutilización (Bustamante Chavez & Ramos Fernandez, 2022). Paralelamente, el sector de la construcción enfrenta la presión de adoptar materiales sostenibles y accesibles, especialmente en zonas con recursos limitados (Rojas-Ramos, 2021). Esta problemática plantea la necesidad de integrar estrategias de economía circular que permitan transformar desechos en recursos valiosos (Llalla, 2024). En este sentido, el presente artículo propone el desarrollo de bloques de construcción fabricados con vidrio reciclado como una solución innovadora, económica y ecológica. A través del análisis técnico, estructural y normativo, se plantea una alternativa viable que contribuye a la reducción del impacto ambiental, mejora la eficiencia de los recursos y fortalece la infraestructura en comunidades vulnerables (Cedillo, 2021).

El problema para resolver es: ¿Cómo transformar el vidrio reciclado en bloques de construcción sostenibles, resistentes y accesibles para fomentar una economía circular en el sector de la construcción?, se buscará aprovechar los residuos de vidrio para reducir su impacto ambiental y, al mismo tiempo, proporcionar una alternativa económica y ecológica a los materiales de construcción tradicionales. Entre sus beneficios destacan: la reducción de desechos de vidrio en vertederos, disminución de la huella de carbono en la industria de la construcción, creación de una fuente de materiales accesibles para comunidades vulnerables, fomento de una economía circular y generación de empleos locales.

Estudios Previos sobre la Incorporación de Vidrio en Ladrillos y Tabiques

Influencia en la Resistencia Mecánica

Según el estudio de González Lozano y Ponce Peña (2012), la incorporación de hasta 10 % de vidrio reciclado en ladrillos de arcilla reduce la resistencia mecánica debido al aumento de la porosidad. Sin embargo, con un 15 % de vidrio, la microestructura se vuelve más compacta, lo que mejora la resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 9.73 MPa, cumpliendo con la norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005 para materiales de construcción.

Efecto en la Porosidad y Absorción de Agua

La porosidad de los ladrillos aumenta con el contenido de vidrio hasta un 10 %, lo que incrementa la absorción de agua hasta un 27.7 %. Sin embargo, con un 15 % de vidrio, la porosidad disminuye, reduciendo la absorción de agua a un 20.6 %, lo que sugiere una mejor compactación del material.

Un estudio en Perú demostró que el vidrio reciclado ayuda a incrementar la densidad de los ladrillos, lo que mejora su resistencia y reduce su fragilidad (Tamayo, Guzmán, López, & Sacari, 2012).

Método

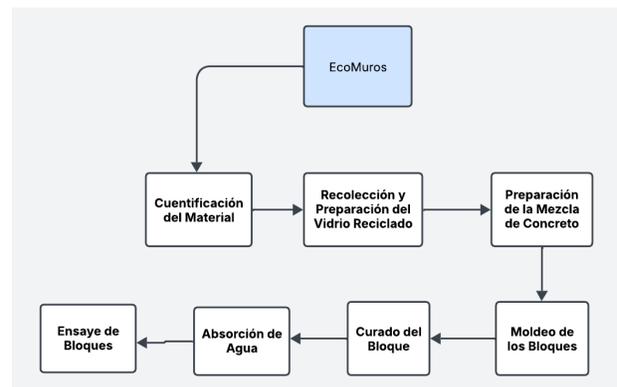


Figura 1: Metodología del proceso de construcción.

Etapa 1: Cuantificaciones Sugeridas para Bloques de Concreto con Vidrio Reciclado

Para reemplazar parte de los agregados tradicionales (arena) en la fabricación de bloques de concreto, el vidrio reciclado se usa en diferentes proporciones. Según estudios, la sustitución parcial de arena con

vidrio triturado mejora la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto.

Material	Proporción	Función
Cemento Portland	10 %	Agente ligante
Arena natural	70 %	Relleno fino, parcialmente reemplazado por vidrio
Vidrio reciclado triturado (≤ 4.75 mm)	15%	Agregado fino, reduce absorción de agua
Agua	5%	Activador de la hidratación del cemento

Tabla 1: Proporciones de los materiales.

Etapa 2: Recolección y Preparación del Vidrio Reciclado

En esta etapa fue necesario usar vidrio posconsumo (botellas, ventanas, parabrisas) sin contaminantes como etiquetas o pegamentos, es este caso se utiliza vidrio transparente, una vez recolectado el vidrio, se deberá limpiar, tratando que eliminar la mayor cantidad de suciedad para posteriormente triturarlo hasta obtener tamaños menores a 4.75 mm, lo que equivale aproximadamente al tamaño de la arena, y posteriormente utilizar un tamiz para separar las partículas que resulten demasiado finas o excesivamente gruesas.

Se puede observar en la figura 2 el vidrio triturado, tomando así una granulometría similar a la arena.

Etapa 3: Preparación de la Mezcla de Concreto

Para esta etapa, debe ser necesario tener las cuantificaciones del material que se va a utilizar, estas cuantificaciones se hicieron con base a la tabla 1. Una vez teniendo el material cuantificado, se procederá a realizar el mezclado del material, añadiendo los

agregados secos, tal y como son la arena, vidrio triturado y el cemento Portland, estos agregados se deben de mezclar de tal forma que parezca una mezcla homogénea, hecho lo anterior se procede agrega agua de forma gradual mientras se continúa mezclando hasta alcanzar una consistencia adecuada.

En la figura 3 se puede observar el vaciado del vidrio molido a la mezcla de cemento y arena, se mezcla de tal manera de que todos los agregados queden de manera uniforme.

Etapa 4: Moldeo de los Bloques

Una vez realizada la mezcla, se procederá a agregar desmoldante a los moldes, esto para que al momento de desmoldar los blocks no se dañen y salgan de una manera mas fácil. Una vez engrasado los moldes, se agregará la mezcla por capas, en cada capa se deberá de compactar correctamente para evitar huecos que puedan afectar la resistencia del block, una vez compactados se procederá a desmoldar

En la figura 4a se muestran los moldes previamente preparados con desmoldante, lo cual facilita su proceso de extracción, mientras que en la figura 4b se observa el agregado de la mezcla a los moldes, se debe compactar de tal manera de no dejar espacios vacíos que afecte su capacidad mecánica.

Resultados

En la figura 5 son los resultados que se obtuvieron, una vez fraguados se deberá de realizar el curado, este paso es crucial para evitar grietas y haya una disminución en la resistencia total que pudiera soportar los blocks de concreto.

En la figura 6 se muestra el proceso de absorción de agua, para llevar a cabo esta etapa, fue necesario pesar las piezas en estado seco y, posteriormente, en estado húmedo, con el objetivo de determinar la cantidad de agua absorbida. Para ello, cada pieza fue sumergida en agua durante un periodo de 10 minutos.

Transcurrido este tiempo, se eliminó el exceso de agua de la superficie y se registró el incremento de peso correspondiente.

En la figura 7 se muestra el instante donde se están ensayando los blocks de concreto, para llegar a esta etapa fue necesario dejar reposar los bloques de concreto durante 28 días, para así poder obtener su resistencia máxima y resultados más satisfactorios, para esto se realizó un procedimiento de curado en la etapa 5 para evitar pérdidas de resistencia y aparición de grietas que pudiera afectar al block. Para poder realizar el ensaye las piezas se colocaron en la maquina universal, en donde se hizo uso de una cama de arena cribada para asegurar la transmisión de cargas de forma homogénea por toda el área de contacto del block.

I. Cuantificación del material

Con uso de la tabla 1 de cuantificaciones se obtuvieron las cantidades necesarias de material para la elaboración de los blocks, incluyéndole un desperdicio.

	Por tabique(kg)	Mas desperdicio (kg)	Por 4 tabiques (kg)
Arena	1.8816	2.06976	8.27904
Agua	0.196	0.2156	0.8624
Cemento	1.372	1.5092	6.0368
Vidrio	0.9408	1.03488	4.13952

Tabla 2: Cuantificación de los materiales.

II. Prueba de absorción de agua

Para la prueba de absorción de agua fue necesario pesar los bloques para así obtener cual fueron los pesos secos y los pesos húmedos de los blocks, teniendo los resultados de la tabla 3.

	Ancho [cm]	Largo [cm]	Superficie [cm2]	Superficie promedio [cm2]	Peso seco [gr]	Peso Humedo [gr]	Tiempo [min]
Pieza 1	10	14.3	143	146.3333333	7190	7280	10
Pieza 2	10	14.1	141		7130	7250	
Pieza 3	10	15.5	155		7000	7130	
				Promedio	7106.666667	7220	
Cb	24.491444		g/(cm ² x min ^{0.5})				

Tabla 3: Absorción de agua.

Con base a la información anterior y con ayuda de la formula [3] se tiene como resultado un coeficiente de absorción inicial de $C_b = 24.49 \frac{gr}{cm^2 \times min^{0.5}}$.

III. Resistencia a compresión

Una vez realizados los procedimientos anteriores, se podrá calcular cual es la resistencia de diseño a compresión de las piezas de forma individual. Una vez realizados los ensayes se obtuvieron los siguientes resultados.

Carga máxima soportada

$$Pieza 1: 384.837 kN \rightarrow 39229.051 kg$$

$$Pieza 2: 308.308 kN \rightarrow 31427.93 kg$$

$$Pieza 3: 256.670 kN \rightarrow 26164.118 kg$$

Área de contacto

$$Pieza 1: 28 \times 14.3 cm \rightarrow 400.4 cm^2$$

$$Pieza 2: 28 \times 14.1 cm \rightarrow 394.8 cm^2$$

$$Pieza 3: 28 \times 15.5 cm \rightarrow 434 cm^2$$

Con los datos anteriores se hará uso de las formula [1] y [2] para así poder determinar cuál será la resistencia de diseño a compresión de las piezas, teniendo los siguientes resultados.

Pieza 1

$$f_p = \frac{39229.051 kg}{400.4 cm^2} \rightarrow 97.9746 \frac{kg}{cm^2}$$

Pieza 2

$$f_p = \frac{31427.93 kg}{394.8 cm^2} \rightarrow 79.6 \frac{kg}{cm^2}$$

Pieza 3

$$f_p = \frac{26164.118 kg}{434 cm^2} \rightarrow 60.286 \frac{kg}{cm^2}$$

Con los resultados obtenidos anteriormente y con la formula [1] nos permitirá conocer cuál será la

resistencia media a compresión de los bloques ensayados.

$$f_p = \frac{(97.9746 + 79.6 + 60.286) \frac{kg}{cm^2}}{3}$$

Obteniendo así una resistencia media a la compresión de $\overline{f_p} = 79.287 \frac{kg}{cm^2}$.

Con la resistencia media a la compresión obtenida, se podrá calcular la resistencia de diseño a la compresión de los blocks, esto con el fin para la determinación de ver si cumple con las normas establecidas con las normas, para poder calcular esta resistencia de diseño se hará uso de la fórmula [2].

$$f'_p = \frac{79.287 \frac{kg}{cm^2}}{1 + 2.5 * 0.35} \rightarrow 42.286 \frac{kg}{cm^2}$$

Obteniendo así una resistencia de diseño de $42.286 \frac{kg}{cm^2}$.

Conclusiones

Los bloques elaborados con vidrio triturado como agregado no alcanzaron la resistencia mínima requerida de 60 kg/cm², obteniendo un valor de diseño de 42.286 kg/cm². Esta diferencia significativa puede atribuirse a varios factores. Algunos factores que pudieron ocasionar una disminución de resistencia pudo ser el tamaño del vidrio triturado, pudiendo haber generado puntos de concentración de esfuerzo o huecos en su estructura, ocasionando una reducción en la resistencia mecánica. Otro posible factor que pudo haber afectado en la resistencia es una proporción inadecuada entre los componentes (cemento, arena, vidrio y agua), así como un proceso de curado deficiente o insuficiente para el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas.

Para mejorar la eficiencia del proceso de compactación y garantizar una mayor resistencia del

material, es fundamental realizar varias acciones. En primer lugar, se debe modificar la granulometría del vidrio triturado con el objetivo de lograr una mejor distribución de tamaños. Esto

permitirá una compactación más eficiente y ayudará a evitar la formación de huecos durante el proceso.

Asimismo, es imprescindible asegurar un proceso de curado adecuado, preferentemente húmedo y controlado, durante un periodo mínimo de 7 a 28 días. Este paso es crucial para prevenir una disminución en la resistencia del material

Por último, se recomienda realizar ensayos adicionales utilizando diferentes proporciones de mezcla, con el fin de optimizar la dosificación y alcanzar un mejor desempeño del producto final.

Referencias:

- Abdallah, S. M. (2011). *The use of waste glass as fine aggregate replacement in concrete block* [Tesis de maestría, Universiti Sains Malaysia]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/316407366>
- Turgut, P., & Yahlzade, E. S. (2009). *Research into concrete blocks with waste glass*. International Journal of Civil and Environmental Engineering. https://www.researchgate.net/publication/280545481_Research_into_Concrete_Blocks_with_Waste_Glass
- Samchenko, S. V., & Korshunov, A. V. (2024). *Formation of cellular concrete structures based on waste glass and liquid glass*. Buildings. <https://doi.org/10.3390/buildings14010017>
- Tamayo, R., Guzmán, R., López, A., & Sacari, E. (2012). *Efecto reforzante del vidrio reciclado en la elaboración de ladrillos artesanales*. Informe Científico Tecnológico IPEN, (2012), 111–116. <https://revistas.ipen.gob.pe/index.php/ict/article/view/74>
- Rojas-Ramos, A. (2021). *Vidrio molido como tecnología sostenible en el concreto hidráulico*. Tecnología en Marcha, 34(Especial Movilidad Estudiantil), 13–18. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i5.5907>
- Gutierrez, B. (2024). *Bloque de vidrio reciclado con resistencia similar a un ladrillo*. Instituto Tecnológico de Zitácuaro, México. <https://doi.org/10.25009/e-rua.v16i05.244>

- Cedillo, N. (2021). *Ladrillo prefabricado con plástico y vidrio reciclado apto para la construcción de viviendas económicas y sociales*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. <https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2021.23.80170>
- Bedriñana Garamendi, M. N., & Yoctun Rios, R. R. (2024). *Influencia del vidrio reciclado en las propiedades mecánicas del concreto autocompactante y la capacidad de uso en la ciudad de Ayacucho*. Gaceta Técnica, 25(2), 74–89. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica252.5>
- González Lozano, M. A., & Ponce Peña, P. (2012). *Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla*. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. https://www.researchgate.net/publication/312955256_Uso_de_vidrio_de_desecho_en_la_fabricacion_de_ladrillos_de_arcilla Use of waste glass in the manufacture of clay bricks
- Llalla, V. (2024). *Uso de material pet y vidrio en la fabricación de bloques de concreto para viviendas de bajo costo*. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13219>
- Hernandes Sanchez, I. C. & Campos Nureña, J. F. (2021). *Influencia del vidrio reciclado en las propiedades mecánicas en bloques intertrabados de concreto de cemento Portland*. Universidad Privada del norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27990>
- Fajardo Castro, C. R. & Lopez Huaycho, S. (2022). *Elaboración de bloques de concreto f'c 75 kg/cm2 adicionando polvo de vidrio de colores reciclado para reducir la emisión de CO2 generado por la producción de cemento*. Universidad Peruana de ciencias aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660938>
- Regalado Roque, W. (2024). *Sustitución del agregado fino por vidrio reciclado en las propiedades del concreto f'c=175 kg/cm2 para cimiento de las edificaciones, Bagua 2023*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/140598>
- Rodriguez, P., Villalobos, J., Gonzales, F., & Burguete, J. (2017). *Diseño y análisis de blocks con agregados pet*. Universidad Autónoma de Chiapas. https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/pakbal-38_abril_2017_paq25_32.pdf
- Toscano Barros, L y Rubio Inguilan, M. (2017). *Diseño de bloques de alivianamiento con vidrio triturado, reciclado*. Quito: UCE. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11860>
- Chaves, Y. (2020). *Evaluación de las propiedades mecánicas en bloques de concreto tipo p incorporando vidrio triturado*. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8922>
- Bustamante Chavez, M. T. & Ramos Fernandez, N. D. M. (2022). *Estudio de la influencia de la adición del vidrio reciclado en la resistencia a compresión del concreto y beneficio en el ambiente*. Universidad Privada del norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30895>

Muros Verdes: Solución Sostenible para Entornos Urbanos

Autor: Alejandro Sánchez Pérez

Universidad Autónoma de Querétaro

Docente a cargo: Dr. Mario Trejo Perea

Correspondencia: asanchez272@alumnos.uaq.mx

Resumen

Este artículo se presenta una revisión general sobre los muros verdes, enfocándose en su composición técnica, beneficios ambientales y los efectos positivos sobre la salud humana. Recientemente se vinculan los jardines verticales con mejoras en el bienestar físico y emocional, como la reducción de contaminantes en la atmósfera, la mitigación del estrés urbano y el fomento del contacto visual con la naturaleza. También se consideran aspectos técnicos fundamentales para su implementación adecuada, como la selección de especies, el sistema de cultivo y las condiciones climáticas del entorno. Los muros verdes, también conocidos como jardines verticales, son sistemas vegetativos que permite el desarrollo de plantas y que están instalados sobre estructuras arquitectónicas verticales, comúnmente en entornos urbanos. Estos sistemas están conformados por paneles cubiertos con plantas, sostenidos mediante estructuras metálicas fijadas a paredes, e integran sistemas de riego por goteo, gravedad o microaspersión que permiten el desarrollo y mantenimiento de la vegetación. Su implementación se ha incrementado en los últimos años como parte de estrategias de arquitectura sostenible y mejora ambiental en ciudades densamente pobladas. Su uso creciente evidencia un cambio hacia una arquitectura más consciente del medio ambiente y de las necesidades humanas.

Palabras Clave: Muros verdes, jardín vertical, efecto isla de calor, arquitectura sustentable.

Abstract

This article presents a general review of green walls, focusing on their technical composition, environmental benefits, and positive effects on human health. Vertical gardens have recently been linked to improvements in physical and emotional well-being, such as reducing atmospheric pollutants, mitigating urban stress, and promoting visual contact with nature. Key technical aspects for their proper implementation are also considered, such as species selection, cultivation system, and environmental climatic conditions. Green walls, also known as vertical gardens, are vegetative systems that allow plant growth and are installed on vertical architectural structures, commonly in urban environments. These systems consist of panels covered with plants, supported by metal structures fixed to walls, and integrate drip, gravity, or micro-sprinkler irrigation systems that allow the development and maintenance of vegetation. Their implementation has increased in recent years as part of sustainable architecture and environmental improvement strategies in densely populated cities. Its increasing use reflects a shift toward architecture that is more aware of the environment and human needs.

Keywords: Green walls, vertical garden, heat island effect, sustainable architecture.

Introducción

En nuestros tiempos el desarrollo de nuestra población la construcción agigantada de edificaciones ha generado una serie de problemáticas ambientales como la contaminación del aire, el incremento de las temperaturas urbanas y la reducción de áreas verdes. Ante este panorama, los muros verdes surgen como una solución innovadora y sostenible que permite integrar la naturaleza en entornos urbanos densamente contruidos. Estas estructuras vegetales verticales, además de embellecer las fachadas, colaboran a regenerar la condición del aire, disminuir el efecto del calor, fomentar en gran dimensión sobre la diversidad biológica y generar beneficios psicológicos para las personas.

La OMS pide y está en favor de los muros verdes por todos los beneficios que nos brinda a toda la humanidad, ya que de esta manera podemos en la actualidad crear nuestros propios bosques verticales llenos de árboles con un cumulo de ventajas.

Planteamiento del Problema: Urbanización y Deterioro Ambiental

Debido al desmedido incremento de la población se ha venido a la baja nuestras áreas verdes considerablemente provocando de esta manera que nuestro aire que respiramos se vea cruelmente afectado.

Es por ello que ante esta problemática se ha tenido que buscar alternativas para mejorar esta preocupante realidad que se vive en la actualidad.

Es por ello que los arquitectos e ingenieros han optado por los muros verdes porque en tan poco espacio se logra crear un espacio verde lleno de plantas lo cual nos ayudara a mejorar la vista urbana y por supuesto la calidad del aire que respiramos, además de bajar la contaminación que tanto nos afecta.

A estas construcciones o muros verdes también se les conoce como arquitectura viviente o arquitectura verde

Marco Teórico

Este tipo de muros verdes se realizan con paneles verticales tapados por plantas, estos paneles están fijados a una estructura metálica que se empotra sobre paredes ya existentes. Además se utiliza un sistema de riego por goteo para no desperdiciar agua ya que la misma está en escasez.

El realizar este tipo de muros verticales representa un motivo de innovación ya que es una solución para nuestras necesidades que tenemos en la actualidad ya que debido a la urbanización desmedida y considerable que vivimos.

Este tipo de muros verdes los podemos colocar en paredes ya sea en paredes exteriores o interiores, lo que permite aprovechar al máximo el uso del espacio disponible y contribuir a la sostenimiento del medio ambiente.

Los beneficios de los muros verdes han sido ampliamente documentados. Desde una perspectiva ambiental, ayudan a reducir el dióxido de carbono (CO₂), filtrar contaminantes del aire, disminuir el ruido urbano y moderar la temperatura exterior e interior de los edificios, contribuyendo a una mayor eficiencia vigorosa.

Además, estas estructuras ofrecen hábitats alternativos para insectos, aves y otras especies, favoreciendo la biodiversidad urbana. Un ejemplo relevante es el Museo Quai Branly en París, cuya fachada vegetal, diseñada por Patrick Blanc, ha demostrado cómo la vegetación vertical puede integrarse exitosamente en la arquitectura moderna mientras cumple funciones ecológicas. En donde implemento un Sistema de hidroponía sin uso de tierra, estructura de metal, PVC y fieltro sintético que retiene humedad y nutrientes. Logrando la

regulación de la temperatura interna del museo y la reducción del ruido en un 50% dentro del edificio. (Blanc, 2008).

Desde el enfoque social y psicológico, investigaciones han demostrado que la presencia de vegetación en los espacios urbanos conserva un impacto autentico en la tranquilidad emocional de todos los seres vivos reduciendo los niveles de estrés y fomentando una percepción más favorable del entorno. En este sentido, los muros verdes no solo cumplen una función estética, sino también terapéutica y educativa.

Todos en el mundo ingenian alternativas para solucionar la problemática que nos conlleva el no tener un bosque natural, por lo tanto los muros verdes se colocan dentro de los edificios para ayudar a compensar estas dificultades.

Además, pueden clasificarse según su diseño estructural, tipo de riego y plantas utilizadas, y su impacto ha sido respaldado por estudios en instituciones.

La serie de plantas a ponerle en nuestro muro verde va de acuerdo al sustrato que se le ponga, al clima existente del lugar y del mantenimiento que se le tenga que dar a cada tipo de planta colocado en cada jardín vertical.

También las plantas a colocar en los muros verdes dependen del tamaño de nuestro muro que fabriquemos.

Desarrollo o Metodología

Se puede realizar un muro verde partiendo desde uno ya existente, el cual lo tomaremos como nuestra base y de ahí partiremos para crear un muro viviente de gran tamaño. Tomaremos en cuenta el tipo de plantas a colocar, el sustrato que se le pondrá, el sistema de riego que llevaremos a cabo, todo esto para lograr darle un buen mantenimiento

y lograr tener por un buen tiempo nuestro muro viviente.

El diseño debe considerar orientación solar, vientos predominantes, facilidad de mantenimiento y disponibilidad de agua.

Fase 1: Se realiza el sustrato orgánico a base de cascarones de huevo





Figuras 1: Preparación del Sustrato

Fase 2: Se consigue la estructura base en la que realizara nuestro muro verde. En este caso se utilizó tablavamento esto debido a la resistencia que tiene y que no es tan pesada



Figura 2: Se alista la base

Fase 3: Se procede a realizar una perforación en cada uno de los recipientes en donde se colocaran las plantas para que drene correctamente.



Figura 3: Perforación para que drene

Fase 4: Se le coloca el aislante térmico (en este caso se emplea una bolsa de plástico) en la estructura de lo que va a ser nuestro muro verde esto es para evitar la humedad



Figura 4: Se coloca el aislante térmico

Fase 5: Se realizan los cortes correspondientes para poder colocar nuestras plantas



Figura 5: Cortes correspondientes para colocar las plantas

Fase 6: Se tienen ya listo el sustrato de suelo y las plantas que se van a colocar (deben de tener un tiempo de adaptación)



Figura 6: Estructura lista donde se colocarán las plantas

Fase 7: Se colocan cada una de las plantas



Resultado Final: Obtenemos nuestro muro verde listo para colocarse ya sea en el interior o exterior de tu casa



Figura 8: Muro Verde ya terminado

Resultados

Los muros verdes muestran resultados positivos en la regulación térmica de los edificios, reducción de contaminantes, mejora del confort humano y aumento de la biodiversidad. Además, presentan potencial para ser implementados en ciudades con infraestructura existente.

Las simulaciones realizadas en diversas ciudades indican que los sistemas multicapas y combinados con captación de agua de lluvia optimizan la eficiencia hídrica y reducen el escurrimiento superficial, contribuyendo al cambio urbano.

Conclusiones

El disponer de un espacio y poder llevar a cabo el implementar crear un espacio de muro verde y permitir colocar infinidad de plantas y así mismo llegar a crear un área verde vertical que nos da la

posibilidad de modernizar, regenerar nuestro medio ambiente y al mismo tiempo embellecer la ciudad donde vivimos. Favorece en gran magnitud la salud de todo ser vivo.

Los muros verdes son una herramienta eficaz para combatir el cambio climático desde las ciudades. Su impacto positivo en la salud, el ambiente y la estética urbana los convierte en una inversión sustentable a largo plazo.

Fomenta la biodiversidad, reduce la contaminación del aire, ayudamos al cuidado del agua que en nuestros tiempos estamos en sequía.

Se recomienda seguir investigando para optimizar su diseño, elegir especies vegetales adecuadas y establecer políticas públicas que fomenten su adopción masiva.

Referencias

Blanc, P. (2008). *The vertical garden: from nature to the city*. W. W. Norton & Company.

Castro-Gomes, J., & Manso, M. (2016). *Green façades and living walls – A review of the main trends and technologies*. *Building and Environment*, 106, 215–232. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132316302232?via%3Dihub>

Del Estado de Hidalgo, U. A. (s. f.). *Techos verdes en las ciudades: beneficios ambientales, energéticos y estéticos* :: Divulgación de la Ciencia. *Techos Verdes En las Ciudades: Beneficios Ambientales, Energéticos y Estéticos*. <https://www.uaeh.edu.mx/divulgacion-ciencia/techos-verdes/index.html>

Dms. (s. f.). *Muros verdes*. *arquitecturamendoza.com*. <http://www.arquitecturamendoza.com/muros-verdes.php>

Espacios, R., & Espacios, R. (2022, 29 diciembre). *Las 5 construcciones verdes más impactantes del mundo*. Ranka | Soluciones Arquitectónicas | Ranka | Soluciones Arquitectónicas. https://www.ranka.mx/las-5-construcciones-verdes-mas-impactantes-del-mundo/?srsltid=AfmBOooOIGcT_N80PXj_WxeRTMh94-CjqsT9T5_A0JxY9wjdkNIXo_9h#Parkroyal_en_Singapour

Köhler, M. (2008). Green facades – a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423–436. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>

La arquitectura se viste de verde con muros vivos. (s. f.). <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/580-numero-65/1158-la-arquitectura-se-viste-de-verde-con-muros-vivos.html>

Llorens, L. (2020, 13 noviembre). Jardín vertical o muro verde , sus 7 beneficios principales. *Jardinable*. <https://jardinable.es/jardin-vertical-beneficios/> (Llorens, 2020)

McAbery, M. (2023, 9 noviembre). Types of green walls - What are they and what do they cost? | Green Oasis. Green Oasis. <https://greenoasis.com/types-of-green-walls/> (McAbery, 2023)

Parida, A. S. G., Reyes, M. G., & Bautista, I. E. R. (2025). Muros verdes. *Futuro sostenible. E-RUA*, 17(07), 108-114. <https://rua.uv.mx/index.php/rua/article/view/289>

Perini, K., & Rosasco, P. (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 70, 110–121. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132313002382?via%3Dihub>

Qué son los Muros Verdes y su impacto ambiental. (2024, 2 julio). <https://plantaoxigeno.com/que-son-los-muros-verdes/>

Salvador, D. G. C. E. N. F. R. R. G. J. C. R. (s. f.). Muros verdes, práctica en aumento. *Ciencia UNAM*. <https://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/11/muros-verdes-practica-en-aumento> (Salvador, s. f.)

Verdegen. (2025, 4 abril). Muros verdes como solución sostenible. *Generación Verde*. <https://generacionverde.com/muros-verdes-como-solucion-sostenible/>

Verdegen. (2025b, mayo 5). Mitos y realidades de tener un jardín vertical. *Generación Verde*. <https://generacionverde.com/mitos-y-realidades-de-tener-un-jardin-vertical/>

Verdtical. (2025, 5 marzo). ¿Qué son los muros verdes? *Verdtical Magazine*. <https://verdticalmagazine.com/muros-verdes/> (Verdtical, 2025)

Subproducto de Café vs Orujo: Cómo los residuos agroindustriales transforman los compuestos poliméricos

Karla Berenice Ortega Moreno¹, Magdalena Mendoza Sánchez^{1*}

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Cerro de las Campanas s/n, C.P. 76100 Santiago de Querétaro, Qro., México.

magdalena.mendoza@uaq.mx*

Resumen

El café y el vino, son dos de las bebidas más consumidas a nivel mundial; los elementos que las constituyen son el fruto del café y la uva; ambos frutos son cosechados por toneladas cada año, utilizados y desechados por las grandes industrias; su huella ecológica está causando estragos en el medio ambiente, es por ello que, la comunidad científica está centrando sus esfuerzos en que los subproductos de la industria (SI) alimenticia tengan un nuevo uso, y en este sentido, se explora su potencial como elementos de refuerzo en los polímeros. El reforzamiento con los SI se ha vuelto muy popular, y se están dirigiendo nuevos métodos para crear polímeros reforzados de alta calidad. El presente estudio recopila el estado de arte de los reforzamientos con SI de café y de uva (orujo), analizando el impacto que conlleva a las propiedades mecánicas de los polímeros (como lo son el módulo de elongación, el módulo de tensión y el módulo de Young), el porcentaje de SI añadido, el pretratamiento de las fibras naturales y la adición de compatibilizantes. El desarrollo de polímeros reforzados es una opción sostenible para nuevos productos, el uso de SI de la industria cafetera y vinícola conlleva a un desarrollo de tecnologías que abarcan amplios campos de la industria.

Palabras clave: Polímeros, subproductos de la industria, residuos agroindustriales, café, orujo de uva, propiedades mecánicas.

Abstract

Coffee and wine are two of the most consumed beverages worldwide; the elements that constitute them are the coffee fruit and grapes; both fruits are harvested by tons every year, used, and discarded by large industries. Their ecological footprint is causing damage to the environment; therefore, the scientific community is focusing its efforts on giving food industry byproducts (SI) a new use, and in this sense, their potential as reinforcement elements in polymers is being explored. Reinforcement with SI has become very popular, and new methods for creating high-quality reinforced polymers are being directed. This study compiles the state-of-the-art of reinforcements with coffee and grape (pomace) SI, analyzing the impact on the mechanical properties of polymers (such as elongation modulus, tensile modulus, and Young's modulus), the percentage of added SI, the pretreatment of natural fibers, and the addition of compatibilizers. The development of reinforced polymers is a sustainable option for new products; using SI from the coffee and wine industries leads to the development of technologies that encompass wide fields of industry.

Keywords: Polymers, industrial byproducts, agroindustrial waste, coffee, grape pomace, mechanical properties.

Introducción

El desarrollo exponencial poblacional, y el consumo excesivo de los recursos naturales y sintéticos han creado un desequilibrio entre producción y desecho. Ante esta perspectiva, la comunidad científica ha realizado estudios con el fin de mitigar la producción masiva de plásticos. Donde el desarrollo de plásticos reforzados con subproductos de la industria (SI) es una alternativa innovadora que permite crear compuestos poliméricos con las mismas características mecánicas que un plástico puro pero con una menor cantidad de plástico, reduciendo su producción; los plásticos reforzados con SI, también tienen beneficios secundarios como lo son; alargar la vida útil de los residuos agroindustriales (RA), disminuye el impacto ambiental producido por los RA y activa la economía circular.

Desde 1950 que se incrementó la popularidad, uso y producción de los plásticos, se han generado en aproximadamente 7,800 millones de toneladas métricas, y más de la mitad de esa cifra, se fabricó entre 2004 y 2017 (Schmaltz et al., 2020); se estima que para el año 2060 la producción mundial rebasa los 1.2 billones de toneladas (Ritchie et al., 2023). De acuerdo con Rhodes (2018) del plástico desechado el 9% es reciclado, mientras que el 12 % es incinerado y el 79 % se encuentra en tiraderos o en el medio ambiente. Los expertos consideran que el 10 % del plástico producido se encuentra en los océanos y para el 2050, el peso de plástico superará el peso de los peces en el mar (Schmaltz et al., 2020). Los plásticos liberados al medio ambiente pueden desplazarse libremente por el aire o a cuerpos de agua, pueden actuar como vectores de microorganismos o liberar sustancias químicas en conjunto con otros contaminantes (Li et al., 2021).

Por otro lado, el café es la bebida de mayor consumo a nivel mundial. Tiene una producción aproximada de 10 millones de toneladas anuales, de las cuales el 90 % se vuelven residuos (Jaramillo et al., 2021). Los residuos agroindustriales de la industria cafetera son desechados al suelo y al agua, provocando que el contacto con una elevada cantidad de cafeína genere

efectos antimicrobianos, lo que provoca afecciones en la microbiota del agua, y vuelve infértil la tierra (Bomfim et al., 2022). Los lixiviados del café tienen efectos mutagénicos en el ADN de los seres vivos, por lo que su presencia en el agua puede alterar la vida acuática (Fernandes et al., 2017).

De la misma forma, otra de las bebidas con gran popularidad a nivel mundial, es el vino, con una producción aproximada de 24.5 millones de toneladas métricas de uva en 2021 (Bomfim et al., 2022). En la elaboración de 750 L de vino, se requieren de 1000 kg de uvas, el residuo sobrante representa el 20-30 %, y está compuesto de las semillas, remanentes de pulpa, cáscara y tallos de la uva, al residuo se le conoce como orujo de uva y es considerado un SI vitivinícola (Nanni et al., 2021). Al orujo de uva, regularmente no se le da un uso aparte, debido a que no puede usarse de forma directa como fertilizante ni como alimento para el ganado, por lo que es vertido al aire libre, y su presencia en los suelos absorbe el oxígeno presente y sirve de vector para microorganismos y enfermedades no deseadas (Antonić et al., 2020).

Debido a lo anterior, el propósito para la industria, ha sido recientemente dar uso a los RA, generando nuevos productos con ellos y de esta forma reduciendo el impacto ambiental anteriormente mencionado. En este sentido, se han creado nuevos métodos para disponer de los RA y aprovechar los componentes que los conforman (Siller-Sánchez et al., 2024), al darles un nuevo propósito, estos pasan de ser residuos a SI.

Se han desarrollado refuerzos de compuestos poliméricos con SI, la combinación de estos proporciona el fortalecimiento de la estructura polimérica sin afectar las propiedades inherentes de los plásticos. Diversos SI se han utilizado con esta finalidad, sin embargo, explorar alternativas como los residuos de café y el orujo, podría ser beneficioso.

Los métodos de producción para diseñar compuestos poliméricos reforzados con SI del café y orujo de uva se han desarrollado de manera experimental hasta el momento, y no existe una metodología estándar para la mezcla de ambas fibras, ni existe una cantidad específica del porcentaje de estos residuos que puede ser incorporado a la mezcla polimérica. La literatura no es concisa en cómo la cantidad de estos SI que se

utilizan para reforzar los polímeros impactan a las propiedades mecánicas de los compuestos poliméricos reforzados.

La presente revisión compara los resultados obtenidos en el diseño de compuestos poliméricos reforzados con residuos de café y sus derivados frente a aquellos reforzados con orujo de uva. El objetivo es analizar cómo influye la combinación de fibras sintéticas con fibras orgánicas de diferente origen en las propiedades mecánicas de los polímeros. Esta investigación se plantea como un estudio exploratorio, basado en un estado del arte sobre los desarrollos más recientes en el refuerzo de polímeros con SI provenientes del café y de la uva. Se examinan aspectos como los tratamientos aplicados a los refuerzos, la proporción de SI incorporada, y los resultados obtenidos en términos de desempeño mecánico. El análisis busca identificar las variables críticas que influyen en la formación del compuesto polimérico, con el fin de establecer condiciones que permitan desarrollar materiales reforzados con propiedades mecánicas comparables, en términos estadísticos, a las de un polímero puro. Este estudio constituye una base para futuras investigaciones enfocadas en la interacción entre fibras orgánicas y sintéticas, y en el impacto específico de distintas fuentes orgánicas sobre las propiedades del material final.

Metodología

Para la selección de la bibliografía se empleó la literatura científica publicada en el idioma inglés, se utilizaron como fuentes de investigación artículos provenientes de Scopus, Web of Science y Science Direct. Para desarrollar el algoritmo de búsqueda, las palabras clave se relacionaron como se observa a continuación:

(Polymer or polyolefins) and (coffee or coffee by products) and (grape or grape by products) and (mechanical properties or physical properties) and (composites) and (tensile strength or Flexural strength) and (reinforcement or reinforced) and (fibers).

El total de artículos en las páginas de búsqueda fueron de 75 en Scopus, 249 en Web of Science y 850 resultados en Science Direct. De los resultados obtenidos con la búsqueda, se preseleccionaron fuentes adecuadas a la temática manualmente en función de los nombres de los artículos y el tiempo de publicación, con un período que abarca de enero de 2020 a febrero de 2025.

Con un total de 24 artículos recabados se realizó una tabla comparativa de aproximación, y se contó con el apoyo de 20 artículos para una mayor comprensión de la metodología; los temas de enfoque son hacia los resultados de las pruebas mecánicas que se realizaron a los compuestos, con énfasis al tipo de tratamiento que recibieron los residuos de café y el porcentaje de SI que se incorporó a la mezcla polimérica con el que se llevó a cabo el diseño del compuesto.

Como herramienta de apoyo, se analizaron los artículos del café en el software de Vos Viewer, un programa que se encarga de hacer análisis de coocurrencia (Orduña-Malea & Costas, 2021). El objetivo del análisis de coocurrencia es esbozar la estructura conceptual del marco de la búsqueda para el presente proyecto, utilizando una red de coocurrencia para mapear y agrupar los términos extraídos de las palabras clave. En los mapas de visualización de red cada etiqueta se representa mediante un nodo de color. El tamaño del nodo se determina por la frecuencia de uso del elemento. Cuanto mayor sea la frecuencia de uso, mayor será su etiqueta. Además, el grosor del entrecruce y la línea de conexión representan la frecuencia de coocurrencia de las etiquetas. Existe una conexión más fuerte entre los nodos con el mismo color (Kemeç & Altınay, 2023).

Resultados y discusión

En el análisis de redes de coocurrencia con el software VOSviewer (Fig. 1), se listan 746 palabras clave diferentes. Las palabras clave de la lista se clasifican en 4 clústeres. Los nodos de mayor tamaño son aquellos con los términos “filler”, “tensile strenght” y “spend coffee ground”.

Tabla 1 Comparativa de los polímeros reforzados con % de SI mínimo (hasta el 5 %).

Polímero	SI	% SI	Maceración	Compatibilizante	M. Elongación %	M. Tensión MPa	M. Young MPa	Referencias
PLA	PC	0	NO	NO	1.21		17090	
PLA	PC	0.5	NO	NO	1.56		13810	
PLA	PC	1	NO	NO	1.38		15750	
PLA	PC	3	NO	NO	1.52		18660	(Gamiz-Conde et al., 2024)
PLA	PC	5	NO	NO	1.97		8950	
PLA	PPC	0.5	NO	NO	1.44		12030	
PLA	PPC	1	NO	NO	1.44		8810	
PLA	PPC	3	NO	NO	0.88		14030	
PLA	PPC	5	NO	NO	1.19		18910	
PLA	PPC	0	NO	NO	317.79	4.27	320	
PLA	PPC	2.5	NO	NO	284.59	6.38	10	
PLA	PPC	5	NO	NO	261.38	4.9	130	
PLA	PPC	2.5	NaOH	NO	380.68	98.6	270	
PLA	PPC	5	NaOH	NO	381.45	116.39	400	
HDPE	PPC	0	NO	NO	750	21	858	(Hejna et al, 2021)
HDPE	PPC	1	NO	NO	20	22	940	
HDPE	PPC	2	NO	NO	15	22.5	960	
HDPE	PPC	5	NO	NO	12.4	21.5	990	
PHBV	OU	0	NO	NO	3.1	33.2		(Monari et al, 2020)
PHBV	OU	5	Acetona 75 %	NO	2.9	28.9		
PHBV	OU	0	NO	NO	3.1	33.2		(Ferri et al, 2020)
PHBV	OU	5	SE	NO	3.1	30.1		
PHBV	OU	5	PLE	NO	3.5	28.8		
PLA	OU	0	NO	NO		20.9	700	(Moldovan et al, 2024)
PLA	OU	0.5	NO	Proviplast		16.5	550	
PLA	OU	1	NO	Proviplast		15.6	525	
PLA	OU	1.5	NO	Proviplast		14.2	500	

PPC= Película de plata de café, PC= Posos de café, CC= Cáscara de café, OU= Orujo de uva, RU= Raspón de uva, SU= Semillas de uva, PLA= Acido poliláctico, HDPE= Polietileno de alta densidad (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene), PHBV= Polihidroxialcanoato

La mínima adicción de SI en los polímeros ya representa una modificación a las propiedades mecánicas. El reforzamiento medio se presente en la

Tabla 2, que tiene un refuerzo de entre >5 y 30% de SI.

Tabla 2 Tabla. Comparativa de los polímeros reforzados con % de SI medio (hasta el >5 % al 30 %).

Polímero	SI	% SI	Maceración	Compatibilizante	M. Elongación %	M. Tensión MPa	M. Young MPa	Referencias
PLA	NA	0	NO	NO	1.21		17090	(Gamiz-Conde et al., 2024)
PLA	PC	10	NO	NO	1.31		9990	
PLA	PPC	10	NO	NO	0.76		11540	
PLA	PPC	0	NO	NO	317.7	4.27	320	(Petaloti et al, 2024)
PLA	PPC	10	NO	NO	89.39	3.51	190	
PLA	PPC	15	NO	NO	36.95	8.59	230	
PLA	PPC	20	NO	NO	27.08	13.57	230	
PLA	PPC	10	NaOH	NO	380.68	98.6	300	
PLA	PPC	15	NaOH	NO	300.8	79.3	450	
PLA	PPC	20	NaOH	NO	157.25	36.26	680	
LLDPE	CC	15	NO	NO	0.345	12.89	222.01	(Tom et al, 2021)
LLDPE	CC	30	NO	NO	0.165	8.79	239.99	
LLDPE	CC	30	NO	MAPE	0.061	8.87	239.49	
LLDPE	CC	15	NaOH	MAPE	0.276	11.11	219.94	
LLDPE	CC	30	NaOH	MAPE	0.119	7.60	189.75	
LLDPE	CC	0	NO	MAPE	3.4	24.9		(Tom et al, 2021)
LLDPE	CC	10	NO	MAPE	3.28	18.1		
LLDPE	CC	20	NO	MAPE	3.2	18.4		
LLDPE	CC	30	NO	MAPE	3.1	17.6		
PP	CC	20	KOH	Alcalinización		5.65		(Melyna et al, 2023)
PP	CC	30	KOH	Alcalinización		5.53		
PP	PC	20	NO	NO			1160	(Marques et al, 2022)
HDPE	CC	0	NO	NO	37.1	9.9	950	(Jaramillo et al, 2021)
HDPE	CC	20	NO	NO	4.8	3.3	980	
LDPE	CC	0	NO	NO	62.9	11.4	350	
LDPE	CC	20	NO	NO	8.1	2.5	390	
HDPE	CC	15	NaOH	ABS (7 %) y kaolin (3 %)		22		(Amena et al, 2022)
HDPE	CC	20	NaOH	ABS (7 %) y kaolin (3 %)		40		
HDPE	CC	25	NaOH	ABS (7 %) y kaolin (3 %)		36		
HDPE	CC	15	NaOH	NO		17		
HDPE	CC	20	NaOH	NO		24		
HDPE	CC	25	NaOH	NO		26		

HDPE	PPC	0	NO	NO	750	21	858	(Hejna et al, 2021)
HDPE	PPC	10	NO	NO	7.5	19.5	1070	
HDPE	PPC	20	NO	NO	4	16	1125	
PBAT	CC	0	NO	BPO/MA/GPT MS		15.5	51	(Lule et al, 2021)
PBAT	CC	10	NO	BPO/MA/GPT MS		17.6	72	
PBAT	CC	20	NO	BPO/MA/GPT MS		17.2	82	
PBAT	CC	30	NO	BPO/MA/GPT MS		16.8	90	
PBS	PC	0	NO	NO	31.53	31	332	(Gaidukova et al, 2021)
PBS	PC	20	NO	NO	9.27	22.62	538	
**PBS	RU	0	NO	NO	435	31.8	616	(Nanni et al, 2021)
PBS	RU	10	NO	Aceite de parafina	168	25.4	722	
PBS	RU	10	Anhidro acético y piridina	Aceite de parafina	274	26.8	732	
PBS	RU	10	Sililados	Aceite de parafina	153	26.3	724	
PBS	RU	10	NA & Sililados	Aceite de parafina	288	28.6	673	
PHBV	OU	0	Acetona 75 %	NO	3.1	33.2		
PHBV	OU	10	Acetona 75 %	NO	2.9	27.6		(Monari et al, 2020)
PHBV	OU	20	Acetona 75 %	NO	2.5	24.1		
PHBV	OU	0	NO	NO	3.1	33.2		(Ferri et al, 2020)
PHBV	OU	10	SE	NO	3.1	27		
PHBV	OU	20	SE	NO	2.5	23.8		
PHBV	OU	10	PLE	NO	3.6	24.7		
PBAT	RU	0	Acetilación	NO	3.23	17.5	124	(Biagi et al, 2024)
PBAT	RU	30	Acetilación	NO	0.52	12.1	259	
PBAT	SU	30	Acetilación	NO	0.72	13.7	325	
PBS	RU	0	Acetilación	NO	1.83	39.4	841	
PBS	RU	30	Acetilación	NO	0.11	25.2	1381	
PBS	SU	30	Acetilación	NO	0.13	25.4	1406	
MB	OU	10	NO	NO	2.02	10.3	725	(Titone et al, 2025)
MB	OU	20	NO	NO	1.91	10.7	755	
PLA	OU	0	NO	MA-g-PLA		70		(Gowman et al, 2020)
PLA	OU	20	NO	MA-g-PLA		37		
PLA	OU	22	NO	MA-g-PLA		34		
PLA	OU	27.5	NO	MA-g-PLA		34		

PLA	OU	28.5	NO	MA-g-PLA		32
PLA	OU	35	NO	MA-g-PLA		32
LDPE	OU	0	NO	NO	205	6.24
LDPE	OU	20	SECO	NO	82	13.25
LDPE	OU	30	SECO	NO	70	14.3
LDPE	OU	20	AGUA	NO	78	17.7
LDPE	OU	30	AGUA	NO	61	13.38
LDPE	OU	20	ACEITE	NO	81	14.28
LDPE	OU	30	ACEITE	NO	65	12.3

(AL-Oq1a, 2021)

PPC= Película de plata de café, PC= Posos de café, CC= Cáscara de café, OU= Orujo de uva, RU= Raspón de uva, SU= Semillas de uva, PLA= Acido poliláctico, HDPE= Polietileno de alta densidad (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene), LDPE= Polietileno de baja densidad (por sus siglas en inglés, Low Density Polyethylene), LLDPE= Polietileno lineal de baja densidad (por sus siglas en inglés, Lineal Low Density Polyethylene), PHBV= Polihidroxialcanoato, PP= Polipropileno, PBAT= Tereftalato de adipato de polibutileno, PBS= Succinato de butileno, MB= Masterbatch.

Existen polímeros que responden de mejor manera al refuerzo que otros, esto se puede ver en el estudio que realizo Biagi et al., (2024) donde el experimento se lleva a cabo con PBAT y PBS, reforzados con raspón y semillas de uvas al 30 %, las fibras de uva son previamente mezcladas con anhídrido acético y ácido sulfúrico, no se le agregan compatibilizantes. En el módulo de Young, le PBS y PBAT tienen incrementos de 167 % y 262 % respectivamente. Sin embargo en los módulos de elongación, se pierde por completo el rendimiento.

La influencia los pretratamientos y los compatibilizantes añadidos a la preparación de los compuestos, se puede ver con el experimento de Tom

et al, (2021), donde le agregan cáscara de café al LLDPE, primero se añade sin tratar ni compatibilizantes, después con compatibilizante MAPE y otra más con pretratamiento y compatibilizante MAPE, en el primer y segundo tratamiento los módulos de tensión y de Young comparten valores similares y estos bajan al ser pretratadas las fibras con NaOH al 5 %, sin embargo, existe una mayor rigidez cuando el compuesto es solamente tratado con compatibilizantes y se elimina al tratamiento con NAOH.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la agregación de refuerzo por encima del 30 %.

Tabla 3 Comparativa de los polímeros reforzados con % de SI máximo (hasta el >30 %).

Polímero	SI	% SI	Maceración	Compatibilizante	M. Elongación %	M. Tensión MPa	M. Young MPa	Referencias
LLDPE	CC	45	NO	NO	0.06	6.27	284.17	(Tom et al, 2021)
LLDPE	CC	45	NO	MAPE	0.08	8.58	256.518	
LLDPE	CC	45	NaOH	MAPE	0.06	5.45	278.95	
LDPE	CC	0	NO	NO	62.9	11.4	350	(Jaramillo et al, 2021)
LDPE	CC	40	NO	NO	3.9	1.7	420	
HDPE	CC	0	NO	NO	37.1	9.9	950	
HDPE	CC	40	NO	NO	3.7	2.9	1020	

HDPE	CC	50	NO	NO	7.76	17.2		
HDPE	CC	40	NO	MAPE	24.95	34.29	(Huang et al, 2018)	
HDPE	CC	50	NO	MAPE	19.34	39.02		
HDPE	CC	60	NO	MAPE	15.14	43.42		
HDPE	CC	70	NO	MAPE	13.58	44.51		
PBAT	CC	0	NO	BPO/MA/GP TMS		15.5	51	(Lule et al, 2021)
PBAT	CC	40	NO	BPO/MA/GP TMS		17	97	
PBS	PC	0	NO	NO	31.53	31	332	(Gaidukova et al, 2021)
PBS	PC	40	NO	NO	4.07	17.84	619	
PBS	PC	60	NO	NO	3.27	7.06	501	
LDPE	OU	0	NO	NO	205	6.24		(AL-Oqla, 2021)
LDPE	OU	40	SECO	NO	49	11.81		
LDPE	OU	40	AGUA	NO	38	10		
LDPE	OU	40	ACEITE	NO	43	11.3		
PP	OU	0	NO	NO		35		(Berger et al, 2022)
PP	OU	50	NO	NO		7.7		
HDPE	OU	0	NO	NO		32		
HDPE	OU	50	NO	NO		8.6		
PLA	OU	0	NO	MA-g-PLA		70		(Gowman et al, 2020)
PLA	OU	40	NO	MA-g-PLA		29		
PLA	OU	42.5	NO	MA-g-PLA		27		
PLA	OU	48	NO	MA-g-PLA		25		
PLA	OU	50	NO	MA-g-PLA		22		

PPC= Película de plata de café, PC= Posos de café, CC= Cáscara de café, OU= Orujo de uva, RU= Raspón de uva, SU= Semillas de uva, PLA= Acido poliláctico, HDPE= Polietileno de alta densidad (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene), LDPE= Polietileno de baja densidad (por sus siglas en inglés, Low Density Polyethylene), LLDPE= Polietileno lineal de baja densidad (por sus siglas en inglés, Lineal Low Density Polyethylene), PHBV= Polihidroxialcanoato, PP= Polipropileno, PBAT= Tereftalato de adipato de polibutileno, PBS= Succinato de butileno.

Huang et al., (2018) realizó un estudio de reforzamiento al polímero HDPE a partir de la adición de cáscara de café, no hubo un tratamiento previo a las fibras del café, sin embargo para la extrucción se añadió un 4 % de MAPE y 1 % de lubricante a cada muestra. Los refuerzos fueron de 40 %, 50 %, 60 % y 70 % de cáscara de café, se diseñó aparte un experimento del 50 % de SI sin MAPE ni lubricante, y los resultados mostraron mejores valores en los módulos de elongación y de tensión con compatibilizante y lubricante.

En el estudio de AL-Oqla (2021), se puede ver aprecia en la tabla 2 y en la tabla 3, las fibras fueron añadidas de manera natural y otras se sumergieron

en agua destilada o en aceite de motor previamente, el resultado de las fibras secas es una mayor fuerza de tensión. El porcentaje de refuerzo se muestra con módulos de tensión más elevados con el 20 % y 30 %.

Discusión y conclusiones

El módulo de elongación se vio menos afectado con el refuerzo mínimo de los SI, mientras con el refuerzo medio y el refuerzo máximo aumento en los módulos de tensión y Young. El uso de SI aumento la resistencia a la tracción, y con el uso de compatibilizantes desarrollo su conexión entre fibras para volver a los polímeros más flexibles con capacidad de volver a su estado original sin mayor rotura. Los SI de café apoyaron a la rigidez y

dureza de los polímeros, y con el uso de SI de uva los elementos se volvieron más flexibles y menos rígidos. Con la añadidura de SI el módulo que tuvo valores más altos fue el módulo de tensión, y el módulo de elongación presento valores menores con su agregación.

Las aplicaciones de los polímeros son amplias, los SI afectan de forma distinta a la dureza, la rigidez y la flexión de los polímeros. El aumento de rigidez se presenta con el aumento de del módulo de Young, lo que lo considera apto para componentes de maquinaria o carcasas, lo contrario sugiere una mayor flexibilidad, lo que lo vuelve idóneo para envases y componentes flexibles. Un módulo de tensión más bajo apoya a una baja deformación elástica del polímero y permite no perder la forma original del objeto, en cambio, la resistencia a la tracción es ideal para correas, fibras y cables.

Bibliografía

- AL-Oqla, F. M. (2021). Performance trends and deteriorations of lignocellulosic grape fiber/polyethylene biocomposites under harsh environment for enhanced sustainable biomaterials. *Cellulose*, 28(4), 2203–2213. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03649-x>
- Antonić, B., Jančíková, S., Dordević, D., & Tremlová, B. (2020). Grape Pomace Valorization: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Foods*, 9(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods9111627>
- Biagi, F., Giubilini, A., Veronesi, P., Nigro, G., & Messori, M. (2024). Valorization of Winery By-Products as Bio-Fillers for Biopolymer-Based Composites. *Polymers*, 16(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/polym16101344>
- Bomfim, A., Oliveira, D., Voorwald, H., Benini, K., Dumont, M.-J., & Rodrigue, D. (2022). Valorization of Spent Coffee Grounds as Precursors for Biopolymers and Composite Production. *Polymers*, 14(3), 437. <https://doi.org/10.3390/polym14030437>
- Gowman, A., Rodriguez-Urbe, A., Defersha, F., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2020). Statistical design of sustainable composites from poly(lactic acid) and grape pomace. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(36). <https://doi.org/10.1002/app.49061>
- Hejna, A., Barczewski, M., Kosmela, P., Mysiukiewicz, O., & Kuzmin, A. (2021). Coffee Silverskin as a Multifunctional Waste Filler for High-Density Polyethylene Green Composites. *Journal of Composites Science*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/jcs5020044>
- Huang, C.-C., Chang, C.-W., Jahan, K., Wu, T.-M., & Shih, Y.-F. (2023). Effects of the Grapevine Biochar on the Properties of PLA Composites. *Materials*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ma16020816>
- Huang, L., Mu, B., Yi, X., Li, S., & Wang, Q. (2018). Sustainable Use of Coffee Husks For Reinforcing Polyethylene Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(1), 48–58. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0917-x>
- Kemeç, A., & Altınay, A. T. (2023). Sustainable Energy Research Trend: A Bibliometric Analysis Using VOSviewer, RStudio Bibliometrix, and CiteSpace Software Tools. *Sustainability*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/su15043618>
- Li, P., Wang, X., Su, M., Zou, X., Duan, L., & Zhang, H. (2021). Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107(4), 577–584. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02820-1>
- Lule, Z. C., & Kim, J. (2021). Properties of economical and eco-friendly polybutylene adipate terephthalate composites loaded with surface treated coffee husk. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 140, 106154. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106154>
- Marques, M., Gonçalves, L. F. F., Martins, C. I., Vale, M., & Duarte, F. M. (2022). Effect of polymer type on the properties of polypropylene composites with high loads of spent coffee grounds. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 154, 232–244. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.009>
- Melyna, E., & Afridana, A. P. (2023). The Effect of Coffee Husk Waste Addition with Alkalisiation Treatment on the Mechanical Properties of Polypropylene Composites. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 7(1), 14. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i1.68556>
- Moldovan, A., Sarosi, I., Cuc, S., Prodan, D., Taut, A. C., Petean, I., Bombos, D., Doukeh, R., Nemes, O., & Man, S. C. (2024). Development and characterization of PLA food packaging composite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13841-x>
- Monari, S., Ferri, M., Vannini, M., Sisti, L., Marchese, P., Ehrnell, M., Xanthakis, E., Celli, A., & Tassoni, A. (2020). Cascade strategies for the full valorisation of Garganega white grape pomace towards bioactive extracts and bio-based materials. *PLOS ONE*, 15(9), e0239629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239629>
- Nanni, A., Cancelli, U., Montevecchi, G., Masino, F., Messori, M., & Antonelli, A. (2021). Functionalization and use of grape stalks as poly(butylene succinate) (PBS) reinforcing fillers. *Waste Management*, 126, 538–548. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.050>
- Nanni, A., Parisi, M., & Colonna, M. (2021). Wine By-Products as Raw Materials for the Production of Biopolymers and of Natural Reinforcing Fillers: A Critical Review. *Polymers*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/polym13030381>
- Orduña-Malea, E., & Costas, R. (2021). Link-based approach to study scientific software usage: The case of VOSviewer. *Scientometrics*, 126(9), 8153–8186. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04082-y>
- Rhodes, C. J. (2018). Plastic Pollution and Potential Solutions. *Science Progress*, 101(3), 207–260. <https://doi.org/10.3184/003685018X15294876706211>
- Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. (2023). Plastic Pollution. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>

Hidrolizados proteicos como aditivos para la alimentación de Tilapia

Mónica Vanessa Oviedo-Olvera, Ana Angélica Feregrino-Pérez y Juan Fernando García-Trejo

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala. Contacto: mvanessaoviedo@gmail.com

Resumen

El uso de hidrolizados proteicos en la alimentación acuícola ha tomado mayor relevancia en los últimos años debido a sus efectos benéficos en el desarrollo de peces. El objetivo de este trabajo fue evaluar la adición de hidrolizados proteicos derivados de residuos de producción pecuaria a dietas para alevines de tilapia. Tres diferentes hidrolizados (pollo, cerdo y pescado) se adicionaron en 1.5 y 3% a una dieta convencional. Se determinó su calidad química y durante 60 días se suministraron las dietas experimentales a un cultivo de tilapia con condiciones monitoreadas de temperatura, oxígeno y pH. Semanalmente se pesaron y midieron los organismos para calcular índices de crecimiento y utilización de nutrientes. Como parte de los resultados, se obtuvo que los hidrolizados proteicos como aditivos aumentaron hasta tres veces la ganancia en peso de los alevines, así como una mayor asimilación y aprovechamiento de proteína en comparación con la dieta convencional. Aunque los tres tipos de hidrolizados generaron valores superiores en los diferentes índices de crecimiento, se recomienda la inclusión de hasta 3% de hidrolizado de pescado para la alimentación de alevines de tilapia.

Palabras Clave: nutrición acuícola, ingredientes alternativos, hidrólisis proteica

Abstract

The use of protein hydrolysates in aquaculture feed has become more relevant in recent years due to their beneficial effects on fish development. The objective of this work was to evaluate the addition of protein hydrolysates derived from livestock production wastes to diets for tilapia fry. Three different hydrolysates (chicken, pork and fish) were added at 1.5 and 3% to a conventional diet. Their chemical quality was determined and for 60 days the experimental diets were fed to a tilapia culture under monitored conditions of temperature, oxygen and pH. The organisms were weighed and measured weekly to calculate growth rates and nutrient utilization. As part of the results, it was found that protein hydrolysates as additives increased fry weight gain by up to three times, as well as increased protein assimilation and utilization compared to the conventional diet. Although the three types of hydrolysates generated higher values in the different growth indices, the inclusion of up to 3% fish hydrolysate is recommended for the feeding of tilapia fry.

Keywords: aquaculture nutrition, alternative ingredients, protein hydrolysis

INTRODUCCION

Como en todo sector productivo, la acuicultura ha basado su rápido crecimiento en la calidad de los alimentos que utiliza para la producción de peces. Hasta el día de hoy, el ingrediente más eficiente para la formulación de estos alimentos es la harina de pescado, ya que provee principalmente proteína, aminoácidos esenciales, ácidos grasos y minerales a los organismos (Fu et al., 2023). Debido al alta demanda de este ingrediente marino y el aumento de costos para su adquisición, la acuicultura ha tenido como reto buscar ingredientes alternativos a la harina de pescado, con una calidad nutricional al menos similar a ésta y con un proceso de obtención sustentable. Si bien, actualmente se han probado diversos tipos de ingredientes alternativos, tanto de origen animal como de origen vegetal, el procesamiento y transformación de residuos derivados de sistemas productivos pecuarios ha tomado mayor relevancia en la acuicultura. En particular, los hidrolizados proteicos han surgido como una alternativa debido a su aporte proteico y su contribución a la economía circular del sector (Siddik, Howieson, Fotedar, & Partridge, 2021; Chaklader et al., 2023).

La hidrólisis de proteínas es una técnica que consta de la partición de las estructuras proteicas de un insumo en cadenas más cortas llamadas péptidos y aminoácidos libres. Esto es posible mediante el uso de ácidos, bases o enzimas para así generar ingredientes con mayor biodisponibilidad para los organismos que las consumen. Los hidrolizados proteicos utilizados en la alimentación acuícola se han desarrollado mediante el uso de residuos derivados de la producción pecuaria, pesquerías y avicultura (como son las vísceras, piel, sangre, plumas, etc.), debido a su contenido nutrimental principalmente de proteínas, grasas y minerales (Chalamaiah, Dinesh kumar, Hemalatha, & Jyothirmayi, 2012a). Por otro lado, el procesamiento industrial de estos sectores genera entre un 33 al 43% de residuos en peso vivo para la ganadería y avicultura y hasta 57% en el procesamiento de pescado; es por esto que se busca su aprovechamiento y revalorización. El uso de enzimas es el método biológico más utilizado para la obtención

de hidrolizados proteicos ya que logra mantener la integridad de aminoácidos e incrementa las funciones bioactivas de los péptidos generados que tienen efecto tanto en la salud de los organismos como en la calidad nutricional del alimento (Habinshuti et al., 2023).

La inclusión en pequeñas cantidades de hidrolizados proteicos en la alimentación de peces ha demostrado brindar efectos favorables sobre el crecimiento, asimilación de nutrientes, actividad antioxidante y respuesta inmune de los organismos (Siddik et al., 2021; Suratip, Charoenwattanasak, Klahan, Herault, & Yuangsoi, 2023). Se ha reportado que la inclusión de hidrolizado proteico de pescado en la alimentación de Salmon Atlántico aumenta su tasa específica de crecimiento y la digestibilidad del alimento (Sandbakken, Five, Bardal, Knapp, & Olsen, 2023). Por otra parte, el hidrolizado proteico de residuos de pollo ha sido adicionado a la alimentación de tilapia del Nilo, proporcionando una mejora en la actividad de enzimas antioxidantes, evitando así el daño a nivel celular y molecular (Gomes et al., 2023).

Es por esto que en este trabajo se evaluó la inclusión como aditivo alimenticio de tres diferentes tipos de hidrolizados (residuos de cerdo, pollo y pescado) y su efecto sobre el crecimiento y utilización de nutrientes de alevines de tilapia en condiciones de cultivo acuícola.

MÉTODO

Dietas experimentales

Se prepararon seis dietas experimentales que constaban de la adición de 1.5 y 3% (peso/peso) de tres diferentes hidrolizados proteicos: pollo (PO-H), pescado (F-H) y cerdo (PI-H) a una dieta convencional para alevines de tilapia, esta última fue utilizada como control. Para su elaboración se mezclaron y homogenizaron manualmente las harinas y posteriormente se densificaron con una peletizadora rotatoria con rodillos de fricción y una matriz para obtener pellets de 6 mm de diámetro. Las dietas fueron secadas a 60°C en un horno de convección por 24 horas y finalmente se sometieron a análisis químicos para determinar su composición.

Análisis químicos de alimentos

La composición proximal de las dietas experimentales se llevó a cabo por métodos estándar de laboratorio y se analizaron por triplicado en el Laboratorio de Bioingeniería-Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro: humedad y materia seca de las muestras por secado a 100°C hasta llegar a peso constante y utilizando método gravimétrico (#934.01); el contenido de cenizas se determinó por medio de ignición en mufla (#942.05) (AOAC, 2002). El método de antrona fue utilizado para la determinación de carbohidratos totales (Ludwig & Goldberg, 1954) y la cuantificación de proteína total por el método de Kjeldahl (8075 HACH) y con un factor de conversión de 6.25. El contenido de lípidos se midió por extracción de Soxhlet asistida con microondas y utilizando una solución de hexanos/acetona y calculando la concentración de grasas por gravimetría (método EPA 3546). Finalmente, el contenido energético de los alimentos se obtuvo por medio de un calorímetro isoperibólico PARR 6200.

Diseño experimental

Durante 60 días se llevó a cabo la prueba de alimentación utilizando un sistema de recirculación de agua con peceras de 15 L y monitoreo de condiciones ambientales como temperatura (28 ± 3°C), oxígeno disuelto (>5 mg/L) y pH entre 7 y 9. Se solicitaron aproximadamente 400 alevines de tilapia (*Oreochromis* spp.) a la unidad de producción acuícola ubicada en Campus Amazcala – Universidad Autónoma de Querétaro. Se colocaron 15 organismos (0.79 ± 0.08 g) por pecera y cada dieta fue evaluada por triplicado. Antes de comenzar la experimentación, los peces fueron sometidos a un periodo de aclimatación a las condiciones de manejo. Posteriormente se proporcionaron tanto la dieta convencional como las experimentales de forma manual diariamente a las 10, 12, 14, 16 y 18 horas de acuerdo a (Fava et al., 2022). La cantidad de alimento fue ajustada al 10% de biomasa por cada pecera.

Índices de crecimiento y utilización de nutrientes

El crecimiento y utilización de nutrientes fueron calculados a partir de la medición de la longitud total

y peso húmedo de los peces en cada pecera y aplicando las siguientes fórmulas (Gbadamosi & Lupatsch, 2018):

$$\text{Supervivencia (\%)} = \left(\frac{\text{número final de individuos}}{\text{número inicial de individuos}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Ganancia de peso diaria (gpez/día)} = \frac{(Pf - Pi)}{\text{días}} \quad (2)$$

$$\text{Ganancia en peso (\%)} = \left(\frac{(Pf - Pi)}{Pi} \right) * 100 \quad (3)$$

$$\text{Tasa Específica de Crecimiento (\%/día)} = \left(\frac{(\ln Pf - \ln Pi)}{\text{días}} \right) * 100 \quad (4)$$

$$\text{Tasa Conversión Alimentaria} = \frac{\text{alimento consumido}}{(Pf - Pi)} \quad (5)$$

$$\text{Tasa de eficiencia proteica} = \frac{\text{Peso ganado}}{\text{Proteína consumida}} \quad (6)$$

Donde Pf es peso vivo final y Pi es peso vivo inicial en gramos.

RESULTADOS

Composición química de dietas

Se puede observar en la Tabla 1 que tanto la dieta convencional como las dietas experimentales se encuentran dentro de los requerimientos de proteína para alevín de tilapia (> 35%). Los hidrolizados proteicos como aditivos aumentaron el contenido de proteína de las dietas y lograron mantener el contenido de grasas conforme a la dieta control, a excepción del hidrolizado de pollo. Por otra parte, el contenido energético de las dietas se determinó como superior a 4 Kcal/g, contenido que cumple con el requerimiento de energía para el crecimiento de alevines de tilapia (El-Sayed & Teshima, 1992).

Tabla 1. Comparación de la composición químico proximal de las dietas adicionadas con hidrolizados proteicos y dieta convencional

Componente químico (g/100g)	Dietas experimentales							
	Control	PO-H		PI-H		F-H		
		1.5	3	1.5	3	1.5	3	
Humedad	7.12±0.13	8.22±0.13	8.34±0.11	7.97±0.02	6.23±0.09	7.33±0.08	6.81±0.08	
Cenizas	11.72±0.11	11.88±0.24	11.58±0.07	11.41±0.25	11.36±0.38	11.77±0.93	12.22±0.07	
Proteína	39.09±1.32	41.19±0.54	41.14±1.11	41.56±0.58	43.50±0.24	40.62±1.25	40.03±1.14	
Grasas totales	6.52±0.11	2.37±0.08	2.19±0.12	6.65±0.45	6.61±0.32	5.73±0.33	5.66±0.93	
Carbohidratos	20.16±0.25	19.48±0.25	23.01±0.65	21.71±1.02	22.15±0.70	22.34±0.40	21.05±0.33	
Energía total (Kcal/g)	4.70±0.01	4.40±0.007	4.42±0.01	4.58±0.01	4.66±0.01	4.58±0.01	4.63±0.01	

Índices de crecimiento y utilización de nutrientes

Las dietas adicionadas con hidrolizados proteicos presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en la mayoría de los índices de crecimiento respecto al control. Sobre el porcentaje de inclusión entre cada tipo de hidrolizado (1.5 o 3%), únicamente el hidrolizado de cerdo obtuvo diferencias entre sus resultados. El mayor valor de ganancia en

peso diario fue para los peces alimentados con la dieta PI-H 3, seguido de las dietas F-H; siendo estos tipos de hidrolizados los que presentaron un incremento diferencial en la ganancia en peso al resto de las dietas experimentales y el control. La TEC, TCA y TEP no generaron diferencias significativas entre tratamientos, pero sí respecto a la dieta control.

Tabla 2. Comparación de los índices de crecimiento y utilización de nutrientes calculados para un cultivo de alevín de tilapia alimentado con hidrolizados proteicos y una dieta convencional

	Dietas Experimentales							
	Control	PO-H		PI-H		F-H		
		1.5	3	1.5	3	1.5	3	
Pi	0.73±0.02 ^a	0.79±0.03 ^a	0.80±0.01 ^a	0.72±0.01 ^a	0.96±0.34 ^a	0.75±0.02 ^a	0.77±0.02 ^a	
Pf	1.81±0.15 ^d	3.70±0.44 ^{bc}	3.33±0.39 ^c	3.64±0.42 ^{bc}	5.41±0.51 ^a	4.44±0.18 ^{abc}	4.70±0.56 ^{ab}	
SR	88.09±4.12 ^a	88.09±4.12 ^a	90.47±4.12 ^a	95.23±8.25 ^a	85.71±14.28 ^a	83.33±4.12 ^a	73.80±14.86 ^a	
GPD	0.018±0.002 ^d	0.048±0.007 ^{bc}	0.042±0.006 ^c	0.048±0.007 ^{bc}	0.074±0.012 ^a	0.061±0.003 ^{abc}	0.065±0.008 ^{ab}	

GP	145.69±15.9 2 ^e	367.54±59.1 5 ^{cd}	314.03±44.8 9 ^d	399.08±51.0 4 ^{bcd}	621.80±76.2 1 ^a	488.71±37.3 3 ^{abc}	508.74±50.7 3 ^{ab}
TEC	1.49±0.10 ^b	2.56±0.21 ^a	2.36±0.17 ^a	2.67±0.17 ^a	2.92±0.63 ^a	2.95±0.10 ^a	3.00±0.13 ^a
TCA	3.29±0.26 ^b	2.09±0.18 ^a	2.27±0.24 ^a	2.02±0.24 ^a	1.84±0.23 ^a	1.87±0.02 ^a	1.92±0.11 ^a
TEP	0.76±0.06 ^b	1.20±0.11 ^a	1.11±0.12 ^a	1.25±0.14 ^a	1.37±0.17 ^a	1.33±0.01 ^a	1.30±0.07 ^a

*Valores en la misma fila con diferente superíndice indica diferencia significativa ($P < 0.05$). Pi = Peso inicial (g); Pf = Peso final (g); SR = Supervivencia (%); GPD = Ganancia de peso diaria (g pez/día); GP = Ganancia de peso (%); TEC = Tasa específica de crecimiento (%/día); TCA = Tasa de conversión alimentaria; TEP = Tasa de eficiencia proteica.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La adición de hidrolizados proteicos en la alimentación de alevines de tilapia proporcionó efectos favorables en el crecimiento de los peces, tal como se ha reportado en estudios previos con diferentes especies acuáticas (Gomes et al., 2023; Siddik et al., 2021; Suratip et al., 2023).

La Tabla 2 muestra diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento, resultando en una ganancia en peso hasta tres veces mayor comparada con la dieta control. Autores como (Wu et al., 2022) obtuvieron resultados similares en el incremento de peso de carpa al incluir hidrolizado de pollo como reemplazo de la harina de pescado en su alimentación. Por otra parte, (Herault et al., 2023) observaron que la suplementación del 5% de hidrolizado de pescado mejora significativamente el crecimiento, digestibilidad y asimilación de nutrientes en el pez besugo. A diferencia de estos trabajos, en este experimento se formularon dietas adicionadas con 1.5 y 3% de hidrolizado, porcentajes más bajos a los reportados y que no se utilizaban como un reemplazo de la harina de pescado. Por lo que, de acuerdo a los resultados obtenidos, es posible considerar a los hidrolizados proteicos de pollo, cerdo y pescado como aditivos con un impacto altamente favorable en el crecimiento de la tilapia. Adicionalmente, los índices SR, GP y TEC generados de las dietas experimentales se pueden asociar a la aceptación y favorable asimilación del alimento por los organismos. Esto es debido a que se ha reportado que el uso de hidrolizados en la alimentación de peces provee de propiedades nutricionales, funcionales y bioactivas a

las dietas, esto por el contenido de péptidos mayormente asimilables por los peces (Villamil, Váquiro, & Solanilla, 2017).

El factor de conversión alimentaria calcula la cantidad de alimento que necesita el pez para poder ganar peso, es decir, cuanto alimento se necesita para producir un gramo de biomasa. Por lo que, entre menor sea el valor del factor, más viable será el uso de este alimento. Todas las dietas con hidrolizados proteicos generaron índices menores respecto al control, sugiriendo una mejor utilización de nutrientes por parte de los organismos alimentados con las dietas experimentales. Estos resultados son similares a los publicados por (Trung et al., 2022), quienes incluyeron hidrolizados de camarón entre 3 y 5% en las dietas de trucha arcoíris. Por otro lado, otro índice importante relacionado con la asimilación de nutrientes de las dietas en la retención de proteína. Se puede observar en la Tabla 2 que los hidrolizados proteicos generaron valores mayores de retención, y en particular el hidrolizados de pescado como aditivo presento resultados superiores. Esto esta relacionado con el contenido de péptidos y tipo de aminoácidos de contienen los hidrolizados. De acuerdo con (Chalamaiah et al., 2012b), los hidrolizados proteicos derivados de residuos de pescado contienen una mayor proporción de aminoácidos esenciales para el crecimiento de peces.

En conclusión, el uso de hidrolizados proteicos derivados de residuos animales resultan ser una alternativa viable para su inclusión como aditivos alimenticios entre 1.5 y 3% en dietas para alevines de tilapia. Los tres diferentes tipos de hidrolizados

evaluados en este experimento permitieron un aumento en el crecimiento, ganancia en peso y utilización de nutrientes de la tilapia, incluso superiores a un alimento convencional; no obstante, el hidrolizado de pescado se recomienda mayormente por su relación entre el crecimiento y asimilación de nutrientes en este estudio. Los resultados reportados contribuyen a la búsqueda de nuevos ingredientes alternativos para el desarrollo de alimentos con mayor eficiencia nutricional y como nuevas posibilidades para reemplazar a la harina de pescado. Asimismo, es necesario continuar con la caracterización de los péptidos que contienen estos hidrolizados y la funcionalidad de los mismo para que puedan ser incluidos de forma más eficiente a la alimentación acuícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. (2002). Official methods of analysis. In *Official methods of analysis of the AOAC* (Vol. 1).
- Chaklader, M. R., Howieson, J., Foyosal, M. J., Hanif, M. A., Abdel-Latif, H. M. R., & Fotedar, R. (2023). Fish waste to sustainable additives: Fish protein hydrolysates alleviate intestinal dysbiosis and muscle atrophy induced by poultry by-product meal in Lates calcarifer juvenile. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1145068>
- Chalamaiah, M., Dinesh kumar, B., Hemalatha, R., & Jyothirmayi, T. (2012a). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135(4), 3020–3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- Chalamaiah, M., Dinesh kumar, B., Hemalatha, R., & Jyothirmayi, T. (2012b). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chemistry*, 135(4), 3020–3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>
- El-Sayed, A. F. M., & Teshima, S. ichi. (1992). Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, 103(1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90278-S](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90278-S)
- Fava, A. F., de Souza Bezerra, G., Neu, D. H., Bittencourt, F., Signor, A., Carvalho, K. V., Gomes, R. L. M., & Boscolo, W. R. (2022). Effects of Feeding Frequency for Nile Tilapia Fingerlings (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/1053556>
- Fu, L., Han, D., Yi, J., Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Yang, Y., Zhu, X., & Xie, S. (2023). Effects of dietary yeast hydrolysate on the growth performance, intestine health and digestion of juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus vachelli* ♂ × *Pelteobagrus fulvidraco* ♀). *Aquaculture Reports*, 29(February), 101496. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101496>
- Gbadamosi, O. K., & Lupatsch, I. (2018). Effects of dietary Nannochloropsis salina on the nutritional performance and fatty acid profile of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Algal Research*, 33(April), 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.04.030>
- Gomes, J. R., da Silva Cardoso, A. J., Hisano, H., de Freitas, R. M. P., Martins, K. V. B., Azevedo, F. S., Freitas, M. B., França Ferreira, P. de M., Salaro, A. L., & Zuanon, J. A. S. (2023). Redox status of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), fed diets supplemented with poultry liver protein hydrolysate as feed additive. *Animal Feed Science and Technology*, 303, 115711. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115711>
- Habinshuti, I., Nsengumuremyi, D., Muhoza, B., Ebenezer, F., Yinka Aregbe, A., & Antoine Ndisanze, M. (2023). Recent and novel processing technologies coupled with enzymatic hydrolysis to enhance the production of antioxidant peptides from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 423, 136313. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136313>
- Herault, M., Gunathilaka, B. E., Fournier, V., Le Bris, H., Lee, K.-J., & Sadoul, B. (2023). Aquatic product hydrolysates increase rearing performance in red seabream (*Pagrus major*), fed a low fish meal diet, in both controlled and stressed conditions: From growth to stress responses. *Aquaculture*, 576, 739830. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739830>
- Ludwig, T. G., & Goldberg, H. J. V. (1954). The anthrone method for the. *Science*, 90–94.
- Sandbakken, I. S., Five, K. K., Bardal, T., Knapp, J. L., & Olsen, R. E. (2023). Salmon hydrolysate as a protein source for Atlantic salmon; prion content and effects on growth, digestibility and gut health. *Aquaculture*, 576(July), 739863. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739863>
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2021). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Suratip, N., Charoenwattanasak, S., Klahan, R., Herault, M., & Yungsoi, B. (2023). An investigation into the effects of using protein hydrolysate in low fish meal diets on growth performance, feed utilization and health status of snakehead fish (*Channa striata*) fingerling. *Aquaculture Reports*, 30(May), 101623. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101623>
- Trung, T. S., Tran, H. V., Le, M.-H., Ky, P. X., Brown, P. B., & Ngo, M. Van. (2022). Growth performance, haematological parameters and proximate composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed varying dietary levels of protein hydrolysate from

- heads of *Penaeus monodon* shrimp processing industry. *Regional Studies in Marine Science*, 55, 102643. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102643>
- Villamil, O., Váquiro, H., & Solanilla, J. F. (2017). Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. *Food Chemistry*, 224, 160–171. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.057>
- Wu, D., Zhang, Y., Li, J., Fan, Z., Xu, Q., & Wang, L. (2022). Assessment of chicken intestinal hydrolysates as a new protein source to replace fishmeal on the growth performance, antioxidant capacity and intestinal health of common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 125, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.05.011>

El consumo de garambullo modula la expresión de proteínas asociadas a inflamación e induce proliferación de *Lactobacillus* en un modelo de cáncer de colon *in vivo*

Autores: Edelmira Sánchez-Recillas^{1a}, Mardey Liceth Cuéllar-Muñoz^{1b}, Juan Carlos Solís-Sáinz^{1c}, Pablo García-Solís^{1d} y Haydé Azeneth Vergara-Castañeda^{1e}

¹Facultad de Medicina. Centro de Investigación Biomédica Avanzada (CIBA). Universidad Autónoma de Querétaro

^a edelmira.s.r@hotmail.com

^b liceth.cuellar@uaq.mx

^c carlos.solis@uaq.mx

^d pablo.garcia@uaq.mx

^e hayde.vergara@uaq.mx

Resumen

El cáncer de colon es una de las neoplasias más frecuentes en México caracterizado por un proceso inflamatorio exacerbado, siendo los hábitos alimentarios parte de su etiología. El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruto rico en compuestos bioactivos, ha demostrado efectos preventivos contra lesiones preneoplásicas en un modelo animal de cáncer de colon. Un mecanismo de protección propuesto es mediante la inhibición de la inflamación, mediado por metabolitos generados durante la fermentación del garambullo por la microbiota intestinal. El género *Lactobacillus* destaca por promover la homeostasis intestinal e intervenir en vías de señalización asociadas a inflamación. El objetivo de este proyecto fue determinar el efecto del garambullo en la modulación de biomarcadores inflamatorios y la abundancia del género *Lactobacillus* en fase temprana de cáncer de colon *in vivo*. Ratas Sprague-Dawley asignadas en 3 grupos experimentales (n=12 por grupo): 1) Control 2) Azoximetano-dextrán sulfato de sodio (AOM-DSS), 3) Garambullo+AOM-DSS. Tras 16 semanas, se recolectaron muestras de heces y tejido colónico. Se identificaron proteínas de inflamación (ICAM-1, IL-1ra y TNF- α) mediante microarreglo de proteínas. Se determinó la abundancia relativa del género *Lactobacillus* mediante secuenciación 16S. Los resultados indican que el consumo de garambullo disminuyó la expresión de proteínas pro-inflamatorias ICAM-1 y TNF- α , aumentó la expresión de IL-1ra proteína anti-inflamatoria y la abundancia del género *Lactobacillus* en las ratas inducidas químicamente. En conclusión, se sugiere que el garambullo induce un efecto quimioprotector en el colon, asociado a la modulación de marcadores inflamatorios y la promoción de proliferación de bacterias del género *Lactobacillus*.

Palabras clave: Garambullo, inflamación, *Lactobacillus*, cáncer de colon

Abstract

Colon cancer is one of the most common neoplasms in Mexico, characterized by an exacerbated inflammatory process, with dietary habits being part of its etiology. Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), is a fruit rich in bioactive compounds, that has demonstrated preventive effects against preneoplastic lesions in an animal model of colon cancer. A proposed protective mechanism is through the inhibition of inflammation, mediated by metabolites generated during the fermentation of garambullo by the gut microbiota. The *Lactobacillus* genus stands out for promoting intestinal homeostasis and intervening in signaling pathways associated with inflammation. The aim of this project was to determine the effect of garambullo on the modulation of inflammatory biomarkers and the abundance of the *Lactobacillus* genus in the early stages of colon cancer *in vivo*. Sprague-Dawley rats were assigned to three experimental groups (n=12 per group): 1) Control 2) Azoxymethane-dextran sodium sulfate (AOM-DSS), 3) Garambullo with AOM-DSS. After 16 weeks, fecal and colonic tissue samples were collected. Inflammatory proteins (ICAM-1, IL-1ra, and TNF- α) were identified using a protein microarray. The relative abundance of the *Lactobacillus* genus was determined by 16S sequencing. The results indicate that garambullo consumption decreased the expression of pro-inflammatory proteins ICAM-1 and TNF- α , increased the expression of IL-1ra, an anti-inflammatory protein, and the abundance of the *Lactobacillus* genus in chemically induced rats. In conclusion, it is suggested that garambullo exerts chemoprotective effect on the colon, associated with the modulation of inflammatory markers and the promotion of the proliferation of *Lactobacillus* genus bacteria.

Keywords: Garambullo, inflammation, *Lactobacillus*, colon cancer

1. Introducción

El cáncer de colon (CC) es el tercer cáncer de mayor frecuencia en México y el mundo (Bray et al., 2024). Durante la etapa inicial del CC, las células epiteliales se transforman debido a mutaciones espontáneas, mutágenos ambientales o cambios epigenéticos. Esta transformación induce un ambiente inflamatorio y proliferativo de las células epiteliales malignas permitiendo la progresión del CC. Durante el proceso inflamatorio en el CC aumenta el estrés oxidativo lo que ocasiona daño al ADN (ruptura de cadenas sencillas o dobles) de las células epiteliales. También aumentan los marcadores inflamatorios como la interleucina 1 (IL-1), el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y la activación del factor nuclear kB (NF-kB) por parte de las células inmunitarias. Esto afecta la función de la barrera intestinal aumentando la exposición de las células epiteliales a mutágenos ambientales o permitiendo el paso de patógenos, ocasionando la pérdida de la homeostasis intestinal. Al paso de la fase de promoción en el CC las células iniciadas anormales acumulan mutaciones oncogénicas, así como aumento de citocinas proinflamatorias que le confieren un fenotipo maligno para finalmente dar paso a la fase de progresión y transformarse en un cáncer (Schmitt & Greten, 2021).

Uno de los principales factores de riesgos asociados al CC es el tipo de dieta. Se ha demostrado que un alto consumo de carne roja y procesada son factores que aumentan el riesgo de desarrollar CC, al ocasionar el aumento de señales inflamatorias que promueven el desarrollo dicha enfermedad (Rawla et al., 2019). Por otro lado, el consumo de alimentos ricos en fibra dietaria y polifenoles presentes en vegetales y frutas son considerados factores protectores. Una vez que la fibra y los polifenoles son metabolizados por la microbiota intestinal del huésped se producen metabolitos como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Los AGCC participan en vías de señalización que disminuyen las proteínas proinflamatorias, inducen apoptosis, activan la respuesta inmunológica y modulan el perfil de la microbiota intestinal, promoviendo la salud colónica (Long et al., 2021). Uno de los principales géneros de bacterias

asociados a la protección intestinal es el *Lactobacillus*, el cual es considerado como probiótico que disminuyen la presencia de bacterias patógenas, mejoran la función de la barrera intestinal, promueven la función del sistema inmunológico y regulación metabólica en el huésped. De tal manera que los *Lactobacillus* están implicados en la prevención de enfermedades intestinales relacionadas a inflamación como el CC (Huang et al., 2022). Por lo que es de interés la búsqueda de alimentos ricos en compuestos bioactivos que puedan ejercer un efecto preventivo en una etapa inicial del CC, mediante la modulación de señales inflamatorias. El fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) ha demostrado que cuenta con diversos compuestos bioactivos con alta capacidad antioxidante. Así mismo se ha encontrado que el garambullo es una fuente de sustrato para la generación de AGCC. En un modelo murino de inducción de lesiones con azoximetano-dextrán sulfato de sodio (AOM/DSS) premalignas de colon se demostró que el consumo de garambullo por 16 semanas las redujo significativamente (Godínez-Santillán et al., 2024), lo que indica que el garambullo ejerce un papel protector durante una etapa temprana del CC. Como parte de los resultados obtenidos de esta investigación (Sánchez-Recillas, datos no publicados) se mostró que el consumo de garambullo en animales inducidos con AOM/DSS modifica el perfil de la microbiota intestinal al promover el crecimiento de bacterias benéficas del género *Faecalibacterium* y disminuir la abundancia de bacterias patógenas del género *Desulfovibrio*. Estudios han demostrado una relación entre cambios en perfil de la microbiota intestinal y biomarcadores inflamatorios (Long et al., 2021). Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar si el consumo de garambullo en el modelo murino de fase temprana de CC inducido con AOM/DSS modula la presencia de proteínas asociadas a inflamación y la promoción en la proliferación de bacterias del género *Lactobacillus*.

2. Metodología

2.1 Recolección y tratamiento del garambullo

El garambullo se recolectó en la comunidad de Garabatillo Celaya (20°31'40"N, 100°48'55"O), en el

El consumo de garambullo modula la expresión de proteínas asociadas a inflamación e induce proliferación de *Lactobacillus* en un modelo de cáncer de colon in vivo

estado de Guanajuato en el mes de junio del 2021. Una vez recolectado, el garambullo fue lavado con agua corriente sin tallar, liofilizado y molido, y se almacenó en bolsas selladas a una temperatura de -80°C .

2.2 Animales y reactivos

Se utilizaron 36 ratas macho Sprague-Dawley con peso inicial de 75 ± 5 g de 4 semanas de edad. Las ratas se mantuvieron en el bioterio del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en un cuarto con temperatura ambiente de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ciclos de luz-oscuridad 12/12 h, con agua y alimento *ad libitum*. Este proyecto fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro (No. 13778). Los procedimientos se realizaron acuerdo a la NOM-062-200-1999. El carcinógeno utilizado fue azoximetano (AOM, No. A5486, Sigma-Aldrich), 10 mg/kg de peso corporal, disuelto en 1 ml de solución fisiológica y se utilizó como promotor al dextrán sulfato de sodio (DSS, No 42867, Sigma-Aldrich) al 2% disuelto en agua de bebida.

2.3 Diseño experimental

Una semana después de la aclimatación, las ratas se asignaron al azar a uno de los 3 grupos de tratamiento (**Figura 1**) (n=12 por grupo): (1) control, dieta basal e inyección subcutánea de solución fisiológica; (2) AOM/DSS, dieta basal más una inyección subcutánea de AOM una vez a la semana por 2 semanas administrado en la 3^{er} y 4^a semana, más DSS durante 7 días; (3) grupo G+AOM/DSS, garambullo liofilizado (5 g/ kg de peso corporal) administrado diariamente en forma de pellet, una vez por día durante el periodo experimental (16 semanas) e inducción con AOM/DSS y dieta basal. La dosis se seleccionó de acuerdo a Reynoso et al., (1999) como dosis inocua. Al término del periodo experimental (semana 16) los animales fueron sacrificados con CO_2 . Se tomaron muestras de heces y de tejido de colon para posteriores análisis.

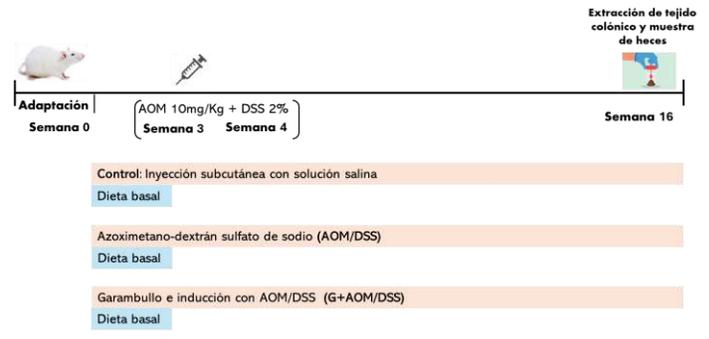


Figura 1. Diseño experimental in vivo. control, dieta basal e inyección subcutánea de solución fisiológica. AOM: Azoximetano. DSS: dextrán sulfato de sodio. G: garambullo. RG: residuo de garambullo.

2.4 Extracción de ADN bacteriano y caracterización de *Lactobacillus*

Se tomaron muestra de heces de cada grupo experimental a la semana 16. Una vez recolectadas las muestras en tubos de recolección fecal DNA/RNA shield (No. R1101, Zymo Reserch) fueron almacenadas a -20°C . Posteriormente se llevó a cabo la extracción de DNA utilizando el kit de extracción fecal (No. D4300, ZymoBiomics DNA miniprep Kit). La calidad del DNA fue determinada usando un espectrofotómetro NanoDrop 2000 (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA). La identificación taxonómica del perfil de la microbiota se realizó por parte de ZymoBiomics mediante illumina. Un total de 3 muestras por grupo (siendo cada muestra un conjunto de ADN de 3 ratas) se diluyeron con agua estéril a una concentración de $20 \mu\text{g}/\mu\text{L}$. Las muestras fueron procesadas y analizadas por el servicio de secuenciación metagenómica dirigida (Zymo Research, Irvine, CA) de ZymoBIOMICS. Las muestras de ADN se prepararon para la secuenciación dirigida con el kit de preparación de bibliotecas NGS Quick-16STM (Zymo Research, Irvine, CA). Finalmente se determinó la abundancia relativa a nivel de género de *Lactobacillus* correspondiente a cada grupo experimental.

2.5 Extracción y cuantificación de proteínas

Para la extracción de proteínas del tejido se pesaron 200 mg de tejido de colónico distal formado por un

pool (mezcla de las muestras) de 3 ratas dentro de cada grupo experimental. Los tejidos fueron colocados en un buffer de lisis conformado por PBS y un coctel de inhibidor de proteasas (No. P8849, Sigma-Aldrich). Las muestras fueron homogenizadas con un politrón durante 10 min. En seguida se adicionó Triton X-100 y posteriormente las muestras se centrifugaron 10,000 g por 5 minutos para remover residuos celulares. Una vez obtenido el sobrenadante se llevó a cabo una cuantificación de proteínas mediante el uso del kit de análisis de proteínas BCA (No. P011, ABP Biosciences).

2.5 Microarreglo de proteínas

Para determinar los biomarcadores inflamatorios se utilizó un microarreglo de proteínas asociadas a inflamación (No. ARY008, Thermo Fisher Scientific). Se utilizaron membranas de nitrocelulosa las cuales cada una contenía 20 anticuerpos de captura diferentes. Una vez bloqueadas las membranas se les añadió 500 µl de las muestras de proteínas extraídas mezcladas con un coctel de anticuerpos biotilados de detección. Las muestras fueron incubadas dentro de cada membrana de anticuerpos, posteriormente se llevó a cabo una detección por estreptavidina conjugada con peroxidasa de rábano picante (HRP). La detección de proteínas se hizo mediante el uso de un fotodocumentador de quimioluminiscencia el cual permitió obtener imágenes que mostraron señales positivas ante la presencia de proteínas dentro de las membranas. Posteriormente se llevó a cabo la identificación de cada proteína expresada utilizando las guías de identificación del microarreglo. Finalmente se determinó el porcentaje de densidad de expresión correspondiente a cada proteína mediante el uso del programa ImageJ versión 1.54K (Softonic).

2.6 Análisis estadístico

Los resultados son expresados como el promedio \pm desviación estándar de dos repeticiones. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para calcular las diferencias significativas, seguida de una prueba de Tukey como *post hoc* $p < 0.05$. Los análisis se realizaron con el programa estadístico JMP versión 7.0 (SAS Institute, Inc.).

3. Resultados y discusión

Se ha evidenciado que los marcadores de inflamación como TNF- α , NF- κ B e IL-1 tienen un papel importante en el desarrollo del CC (Hasibuan et al., 2024). De igual manera estudios han demostrado el papel de la microbiota intestinal en el desarrollo del CC (Heo et al., 2021). **La Figura 2** se muestra la expresión de proteínas inflamatorias en el grupo AOM/DSS y en el G+AOM/DSS. Los resultados indican la expresión de la molécula de adhesión intracelular 1 (ICAM-1) y el antagonista del receptor de IL-1 (IL-1ra) en los grupos y mientras que TNF- α solo se expresó en el grupo inducido con AOM/DSS. Cabe señalar que dentro del grupo control no se identificó ninguna proteína de inflamación (datos no mostrados).

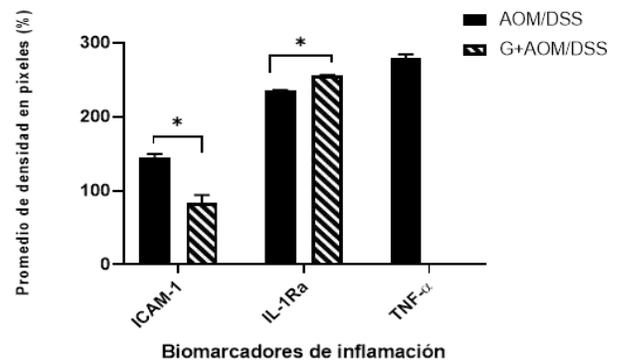


Figura 2. Biomarcadores de inflamación. Los datos se muestran como la media \pm desviación estándar de dos repeticiones. Análisis estadístico de ANOVA de una vía. Las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) se indican con un asterisco (*) mediante una prueba *post hoc* Tukey-Kramer. AOM: Azoximetano. DSS: dextrán sulfato de sodio. G: gámbulo. ICAM-1: molécula de adhesión intracelular 1. IL-1ra: antagonista del receptor de IL-1. TNF- α : factor de necrosis tumoral alfa.

La expresión de la proteína ICAM-1 fue significativamente menor en el grupo G+AOM/DSS en comparación con el grupo AOM/DSS. La proteína ICAM-1 es una glicoproteína de superficie celular de la superfamilia de inmunoglobulinas (Ig) que pertenece a las proteínas de adhesión celular, y juega un papel importante en la interacción célula-célula, célula-matriz extracelular, señalización celular y procesos inmunológicos. Se ha mostrado que ICAM-1 participa en la patogénesis del CC debido a que

modula funciones como apoptosis, motilidad celular y angiogénesis (Qiu et al., 2022). El aumento de ICAM-1 observado en el grupo AOM/DSS puede ser debido a que es una proteína pro-inflamatoria activada a través de la estimulación por lipopolisacáridos (LPS) o interleucinas proinflamatorias como TNF- α , IFN- γ e IL-1 por medio de la activación de la vía de señalización NF- κ B, lo que provoca una inflamación sostenida (Qiu et al., 2022). El aumento en ICAM-1 se ha asociado con la presencia de disbiosis intestinal al verse alterada la homeostasis de la barrera intestinal ocasionando la activación de la vía NF- κ B. Esto puede relacionarse con el aumento en la abundancia de bacterias patógenas como *Desulfovibrio* en el grupo inducido con AOM/DSS reportado en resultados anteriores que forman parte de este proyecto (Sánchez-Recillas, datos no publicados). Además, se ha reportado aumento de ICAM-1 en modelos animales después de la administración con DSS, demostrando que el incremento en su expresión en tejido colónico se da en las primeras fases de un proceso inflamatorio (Jenkins et al., 2019). Por otra parte, la disminución en la expresión de ICAM-1 observada en el grupo G+AOM/DSS coincide con lo reportado por Dias et al., (2014) en donde la administración de un extracto de Acaí (*Euterpe oleracea Martius*) un fruto rico en polifenoles ocasionó una disminución en su expresión mediante la inhibición de la vía NF- κ B dada por el ácido butírico.

Esto puede a su vez relacionarse con el incremento en la abundancia de *Lactobacillus* observado en el grupo inducido con G+AOM/DSS en comparación al grupo AOM/DSS (Figura 3). El género *Lactobacillus* son bacterias productoras de ácido butírico por lo que un posible mecanismo por el cual el consumo de garambullo disminuyó la expresión de ICAM-1 puede ser a través del aumento en la abundancia de este género bacteriano (Huang et al., 2022). De igual manera compuestos bioactivos como la betanina y la indicaxantina presentes en garambullo (Sánchez-Recillas et al., 2022) pueden ser la causa del efecto modulador del fruto sobre biomarcadores de inflamación, ya que se ha descrito que ambos compuestos inhiben la expresión de ICAM-1 (Moreno-Ley et al., 2021).

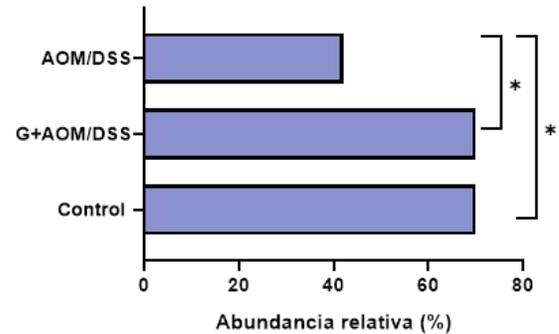


Figura 3 Abundancia relativa del género *Lactobacillus*. Los datos se muestran como la media de tres repeticiones. Análisis estadístico de ANOVA de una vía. Las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) se indican con un asterisco (*) mediante una prueba *post hoc* Tukey-Kramer. AOM: Azoximetano. DSS: dextrán sulfato de sodio. G: garambullo.

Por otro lado, la proteína IL-1ra aumentó su expresión en el grupo G+AOM/DSS en comparación al grupo AOM/DSS. El aumento de IL-1ra indica un posible papel protector del garambullo ante la inducción de AOM/DSS debido a que esta proteína es una interleucina anti-inflamatoria que funciona como un antagonista del receptor de IL-1 (IL-1R) (Fields et al., 2019). Se sabe que la IL-1ra se une al receptor de IL-1 boqueando su actividad proinflamatoria en modelos *in vitro* e *in vivo*. El bloqueo de la actividad de IL-1 resulta de importancia en el CC debido a que la IL-1 se ha asociado con su progresión. Algunos estudios han asociado el aumento de IL-1ra con la disminución de tumores en modelos animales de xenoinjertos derivados de células de CC humanas (Heo et al., 2021). El aumento en la expresión de IL-1ra observada en el grupo G+AOM/DSS puede estar asociado al aumento en la abundancia del género *Lactobacillus* observado en el grupo G+AOM/DSS. Estudios demuestran que el género *Lactobacillus* promueve la secreción de IL-1ra en monocitos, activando una vía de señalización anti-inflamatoria (Mata Forsberg et al., 2019).

El TNF- α solo se expresó en el grupo con AOM/DSS en comparación al grupo G+AOM/DSS. Esto sugiere que el garambullo ejerce un papel protector ante la inflamación inducida por AOM/DSS al no permitir la expresión del TNF- α . El TNF- α es un biomarcador pro-inflamatorio que se produce durante una respuesta inflamatoria inicial y propagada. Regula la producción de citocinas pro-inflamatorias, quimiocinas y moléculas de adhesión endotelial. TNF- α aumenta la permeabilidad vascular lo que permite el reclutamiento de leucocitos activados al lugar de la lesión. Por lo que es un promotor de la inflamación, angiogénesis y la progresión tumoral. Los niveles de TNF- α se ven aumentados en pacientes con enfermedades asociadas a inflamación intestinal como colitis ulcerosa y CC, así mismo en modelos inducidos con AOM/DSS (Heo et al., 2021). Se sabe que la expresión de TNF- α depende de la activación de NF- κ B lo que contribuye al proceso de inflamación. De tal manera que el bloqueo o disminución de TNF- α demuestra ser eficaz para la progresión del CC. Por lo que el consumo de garambullo al disminuir la expresión de TNF- α está mostrando una modulación de la actividad anti-inflamatoria. El consumo de frambuesa negra en un modelo murino inducido con DSS demostró una disminución de la ulceración de la mucosa al suprimir los niveles de TNF- α e IL-1 así como la inhibición de la vía NF- κ B (Chen et al., 2019). Así mismo en un modelo murino inducido con AOM/DSS se observó que el consumo de fresa liofilizada disminuyó al TNF- α e IL-1 así como las lesiones preneoplásicas. Esto se relaciona con el efecto protector que mostró el consumo de garambullo ante la inducción con AOM/DSS al disminuir las FCA, en donde se obtuvo un menor grado de inflamación en el tejido de ratas tratadas con garambullo (Godínez-Santillán et al., 2024). Al igual con nuestros resultados en donde el grupo que consumió garambullo mostró una disminución de la expresión de TNF- α . Los flavonoides presentes en frutas y verduras poseen propiedades antiinflamatorias. Flavonoides como la quercetina y el kaempferol presentes en garambullo (Sánchez-Recillas et al., 2022) se ha descrito que bloquean la activación de la vía NF- κ B provocando la disminución de la producción de citocinas

proinflamatorias en otras matrices alimentarias (Hasibuan et al., 2024). Las betalaínas, que son compuestos bioactivos presentes en garambullo, se ha descrito que tiene actividad anti-inflamatoria debido a que disminuyen marcadores de inflamación como TNF- α , NF- κ B e IL-1 (Lechner & Stoner, 2019). Por otro lado, estudios han demostrado una correlación entre la microbiota, inflamación y la presencia de TNF- α . Se ha observado una disminución de la expresión de TNF- α ante la presencia de *Lactobacillus* en modelos *in vitro* (Oh et al., 2020). Lo anterior podría indicar que el aumento de *Lactobacillus* observado en el grupo que consumió garambullo podría estar relacionado con la ausencia en la detección de la expresión de TNF- α en el grupo G+AOM/DSS en comparación a la disminución de *Lactobacillus* presente en el grupo AOM/DSS.

Se ha descrito el papel protector de *Lactobacillus* ante el desarrollo del CC a través de la inhibición de la inflamación, angiogénesis y el mejoramiento del funcionamiento de la barrea intestinal a través de la síntesis de AGCC. Dentro de los AGCC que forman los *Lactobacillus* se encuentra el ácido butírico el cual induce la expresión de péptidos antimicrobianos, inhibe la angiogénesis y la migración de células tumorales, así como estimula la apoptosis de células tumorales. Además de inhibir la inflamación al bloquear la expresión de citocinas pro-inflamatorias dependientes de la vía NF- κ B como TNF- α e IL-1 (Chattopadhyay et al., 2021). Chen et al., (2019) reportaron que en el modelo murino de inducción con AOM/DSS el género *Lactobacillus* se redujo en comparación a los animales que consumieron liofilizado de frambuesa negra, debido a los compuestos fenólicos presentes en el fruto. Esto coincide con lo observado en nuestros resultados, en donde el consumo de garambullo previno la reducción en la abundancia del género *Lactobacillus* en comparación al grupo inducido con AOM/DSS. Es probable que los polisacáridos y las betalaínas presentes en el garambullo eviten la reducción de los *Lactobacillus* ya que estos compuestos se han asociado con promover la abundancia de *Lactobacillus* (de Oliveira et al., 2021). De tal manera que la prevención en la reducción de *Lactobacillus* en el grupo G+AOM/DSS puede contribuir al efecto

anti-inflamatorio del garambullo ante la inducción del CC. Los *Lactobacillus* al producir ácido láctico como metabolito secundario contribuyen a disminuir el pH intestinal, lo que limita la supervivencia de otras bacterias patógenas y disminuye el estado inflamatorio (Chattopadhyay et al., 2021). Así mismo en un modelo murino inducido con CC se observó que *Lactobacillus* contribuye a la disminución de la incidencia y multiplicidad de las FCA, además disminuye la expresión de NF- κ B y modula positivamente la diversidad microbiana. A su vez, las bacterias del género *Lactobacillus* aumentan el potencial antioxidante y antimicrobiano de los polifenoles al modificar su estructura una vez que son metabolizados por los *Lactobacillus* (Piekarska-Radzik & Klewicka, 2021). De igual forma los *Lactobacillus* controlan promotores oncogénicos al modular la microbiota intestinal e inactivando carcinógenos. En modelos murinos con CC se ha visto que pueden reducir la β -glucuronidasa en el intestino y esto disminuye la descomposición de glucurónidos y la liberación de agliconas cancerígenas (Huang et al., 2022).

4. Conclusión

El consumo de garambullo disminuyó la expresión de biomarcadores pro-inflamatorios como ICAM-1 y TNF- α y aumentó la expresión de IL-1ra, un biomarcador anti-inflamatorio, en tejido colónico de ratas en el modelo de CC inducido químicamente. Estos cambios en expresión, así como el aumento en la proliferación de bacterias del género *Lactobacillus*, sugieren una asociación con la disminución de la inflamación causada por la inducción de AOM/DSS en un modelo animal.

5. Referencias

Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 74(3), 229–263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>

Chattopadhyay, I., Dhar, R., Pethusamy, K., Seethy, A., Srivastava, T., Sah, R., Sharma, J., & Karmakar, S. (2021). Exploring the Role of Gut Microbiome in Colon Cancer. In *Applied Biochemistry and Biotechnology* (Vol. 193, Issue 6, pp. 1780–1799). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03498-9>

Chen, T., Shi, N., & Afzali, A. (2019). Chemopreventive effects of strawberry and black raspberry on colorectal cancer in inflammatory bowel disease. In *Nutrients* (Vol. 11, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu11061261>

de Oliveira, S. P. A., do Nascimento, H. M. A., Sampaio, K. B., & de Souza, E. L. (2021). A review on bioactive compounds of beet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris*) with special emphasis on their beneficial effects on gut microbiota and gastrointestinal health. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 61, Issue 12, pp. 2022–2033). Bellwether Publishing, Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768510>

Dias, M. M. D. S., Noratto, G., Martino, H. S. D., Arbizu, S., Peluzio, M. D. C. G., Talcott, S., Ramos, A. M., & Mertens-Talcott, S. U. (2014). Pro-apoptotic activities of polyphenolics from açai (*Euterpe oleracea* Martius) in human SW-480 colon cancer cells. *Nutrition and Cancer*, 66(8), 1394–1405. <https://doi.org/10.1080/01635581.2014.956252>

Fields, J. K., Günther, S., & Sundberg, E. J. (2019). Structural basis of IL-1 family cytokine signaling. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 10, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01412>

Godínez-Santillán, R. I., Kuri-García, A., Ramírez-Pérez, I. F., Herrera-Hernández, M. G., Ahumada-Solórzano, S. M., Guzmán-Maldonado, S. H., & Vergara-Castañeda, H. A. (2024). Characterization of Extractable and Non-Extractable Phenols and Betalains in *Berryocactus* (*Myrtillocactus geometrizans*) and Its Chemoprotective Effect in Early Stage of Colon Cancer In Vivo. *Antioxidants*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/antiox13091112>

Hasibuan, P. A. Z., Simanjuntak, Y., Hey-Hawkins, E., Lubis, M. F., Rohani, A. S., Park, M. N., Kim, B., & Syahputra, R. A. (2024). Unlocking the potential of flavonoids: Natural solutions in the fight against colon cancer. In *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 176). Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116827>

Heo, G., Lee, Y., & Im, E. (2021). Interplay between the gut microbiota and inflammatory mediators in the development of colorectal cancer. In *Cancers* (Vol. 13, Issue 4, pp. 1–17). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cancers13040734>

- Huang, R., Wu, F., Zhou, Q., Wei, W., Yue, J., Xiao, B., & Luo, Z. (2022). Lactobacillus and intestinal diseases: Mechanisms of action and clinical applications. In *Microbiological Research* (Vol. 260). Elsevier GmbH. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127019>
- Jenkins, S. V., Robeson, M. S., Griffin, R. J., Quick, C. M., Siegel, E. R., Cannon, M. J., Vang, K. B., & Dings, R. P. M. (2019). Gastrointestinal tract dysbiosis enhances distal tumor progression through suppression of leukocyte trafficking. *Cancer Research*, 79(23), 5999–6009. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-18-4108>
- Lechner, J. F., & Stoner, G. D. (2019). Red beetroot and betalains as cancer chemopreventative agents. *Molecules*, 24(8). <https://doi.org/10.3390/molecules24081602>
- Long, J., Guan, P., Hu, X., Yang, L., He, L., Lin, Q., Luo, F., Li, J., He, X., Du, Z., & Li, T. (2021). Natural Polyphenols as Targeted Modulators in Colon Cancer: Molecular Mechanisms and Applications. In *Frontiers in Immunology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.635484>
- Mata Forsberg, M., Björkander, S., Pang, Y., Lundqvist, L., Ndi, M., Ott, M., Escribá, I. B., Jaeger, M. C., Roos, S., & Sverremark-Ekström, E. (2019). Extracellular Membrane Vesicles from Lactobacilli Dampen IFN- γ Responses in a Monocyte-Dependent Manner. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53576-6>
- Moreno-Ley, C. M., Osorio-Revilla, G., Hernández-Martínez, D. M., Ramos-Monroy, O. A., & Gallardo-Velázquez, T. (2021). Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review. In *Human Nutrition and Metabolism* (Vol. 25). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2021.200126>
- Oh, N. S., Lee, J. Y., Kim, Y. T., Kim, S. H., & Lee, J. H. (2020). Cancer-protective effect of a synbiotic combination between Lactobacillus gasseri 505 and a Cudrania tricuspidata leaf extract on colitis-associated colorectal cancer. *Gut Microbes*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1785803>
- Piekarska-Radzick, L., & Klewicka, E. (2021). Mutual influence of polyphenols and Lactobacillus spp. bacteria in food: a review. *European Food Research and Technology*, 247(1), 9–24. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03603-y>
- Qiu, Z., Wang, Y., Zhang, Z., Qin, R., Peng, Y., Tang, W., Xi, Y., Tian, G., & Zhang, Y. (2022). Roles of intercellular cell adhesion molecule-1 (ICAM-1) in colorectal cancer: expression, functions, prognosis, tumorigenesis, polymorphisms and therapeutic implications. In *Frontiers in Oncology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.1052672>
- Rawla, P., Sunkara, T., & Barsouk, A. (2019). Epidemiology of colorectal cancer: Incidence, mortality, survival, and risk factors. In *Przegląd Gastroenterologiczny* (Vol. 14, Issue 2, pp. 89–103). Termedia Publishing House Ltd. <https://doi.org/10.5114/pg.2018.81072>
- Reynoso, R. C., Giner, T. V., & De Mejía, E. G. (1999). Safety of a filtrate of fermented garambullo fruit: Biotransformation and toxicity studies. *Food and Chemical Toxicology*, 37(8), 825–830. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00070-8](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00070-8)
- Sánchez-Recillas, E., Campos-Vega, R., Pérez-Ramírez, I. F., Luzardo-Ocampo, I., Cuéllar-Núñez, M. L., & Vergara-Castañeda, H. A. (2022). Garambullo (Myrtillocactus geometrizans): effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility and antioxidant capacity of phytochemicals. *Food and Function*. <https://doi.org/10.1039/d1fo04392g>
- Schmitt, M., & Greten, F. R. (2021). The inflammatory pathogenesis of colorectal cancer. In *Nature Reviews Immunology* (Vol. 21, Issue 10, pp. 653–667). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41577-021-00534-x>

Características, ventajas y limitantes de los diseños de investigación en áreas médicas

Dr. Adrián Enrique Hernández Muñoz, Dra. Danna Ximena Cabello-Martínez, Dra. María José Badillo-Pescador, Dra. Daniela Rodríguez-Arreguín, Dra. Montserrat Lugo-Sánchez, Dra. Alondra Martínez-Peña, Dr. Víctor Sebastián Mercado-García, Dra. Karla Michelle Hernández-Muñoz

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro

Resumen

Introducción. Por diseño de investigación (Di) se define al método con el cual se planificará y analizará la información de un proyecto de investigación. En el campo médico, cada Di tiene sus propias características; clasificándose por su tipo de análisis y temporalidad. La validez de los futuros resultados de un proyecto, así como el cumplimiento de sus objetivos, dependerá de la correcta selección del Di. Ante ello, el objetivo del presente artículo será describir las características, ventajas y limitaciones de los principales diseños médicos de investigación. **Metodología.** Para redactar el manuscrito, se realizó una revisión de la información de tipo narrativa, buscando en bases de datos, motores de búsqueda, así como libros de metodología clínica, básica y epidemiológica. **Resultados.** De acuerdo con la investigación que se plantee, así como a los objetivos de la taxonomía de Bloom, se pueden seleccionar Di experimentales u observacionales. Los primeros incluyen estudios prospectivos como los ensayos clínicos y las intervenciones educativas, que identifican correlaciones y diferencias entre poblaciones. Por otro lado, estudios observacionales tales como cohortes, casos y controles, así como transversales, permiten la identificación de prevalencias, incidencias y asociaciones. Sin embargo, dependiendo de su temporalidad y tipo de análisis, será más difícil su realización, implicando mayor conocimiento estadístico o inversión económica. **Conclusión.** La correcta elección del Di no solo permitirá que se cumplan los objetivos del estudio, sino que además permitirá su registro ante comités de investigación. De esta manera se podrán iniciar investigaciones, las cuales permitan la generación de nuevas evidencias médicas.

Palabras Clave: Diseños; investigación; clínico; prospectivo; observacionales, estudios

Abstract

Background. A Research design (Rd) is defined as the method by which the information in a study project will be planned and analyzed. In the medical field, each Rd has its own characteristics; classified by its type of analysis and temporality. The validity of a project's future results, as well as the fulfillment of its objectives, will depend on the correct selection of the RD. Therefore, the objective of this article is to describe the characteristics, advantages, and limitations of the main medical research designs. **Methodology.** To write the manuscript, a narrative review was conducted: searching databases, search engines, as well as books on clinical, basic, and epidemiological methodology. **Results.** Depending on the research study that is being proposed, as well as the objectives of Bloom's taxonomy, experimental or observational RDs can be selected. The former includes prospective studies such as clinical trials and educational interventions, which identify correlations and differences between populations. On the other hand, observational studies such as cohorts, case-control studies, and cross-sectional studies allow for the identification of prevalences, incidences, along with associations. However, depending on its temporality and type of analysis, the implementation of a Rd will be more difficult, requiring greater statistical knowledge or financial investment. **Conclusion** The correct choice of Rd will not only allow the study's objectives to be fulfilled but will also allow the research's registration within research committees. Thus, research studies can be initiated, which can generate new medical evidence.

Keywords (MeSH): Design; Research; clinical; prospective; observational studies

Introducción

“Hay cuatro cosas que siempre se deben tener en cuenta en un proyecto: seleccionar elementos con criterio, combinarlos y procesarlos entre sí; además de su utilidad, por supuesto (...) No obstante, no basta con atenerse a estos cuatro principios, ya que siempre debe de existir una buena base que sustente todo”.

Hideo Yokoyama. (2019) *La luz del norte*.

En el campo de la medicina, las investigaciones profundizan el conocimiento sobre un tema clínico: responden preguntas que pueden ir desde la identificación de las causas biológicas de un proceso patológico, hasta incluso la generación de nuevas propuestas diagnósticas o terapéuticas (Torales y Barrios, 2023). Por ende, de manera sistemática y sistematizada, un Proyecto de investigación en Áreas Médicas (PiAM) generará nuevas evidencias científicas para el campo de la salud, las cual mejorarán la atención clínica proveída (Argimón-Pallas y Jiménez-Villa, 2019; Hernández-Muñoz et al., 2025b).

Igualmente, en el campo de la salud, los tipos de PiAM más utilizadas son los estudios clínicos, biomédicos y epidemiológicos (Kiani, 2022). Las investigaciones básicas o biomédicas se realizan en laboratorios: estudian células y tejidos; describen y analizan procesos moleculares. Por otro lado, las investigaciones epidemiológicas, y los reportes de series de casos clínicos, se enfocan en poblaciones de pacientes con el fin de determinar tasas de prevalencias, etiologías y causalidades, así como a su vez determinan riesgos para el desarrollo de patologías (Hernández-Muñoz et al., 2025b; Kiani, 2022).

No obstante, independientemente del tipo de investigación que se realizará, es indispensable especificar cuál será el enfoque teórico y metodológico del PiAM. Mientras que el marco

teórico expondrá las evidencias más actualizadas necesarias para la realización de la investigación, el Apartado metodológico (Am) determinará cual será el plan de trabajo necesario para cumplir los objetivos (Hernández-Muñoz et al., 2025a). No obstante, la validez de un proyecto depende de su planificación metodológica, así como del diseño de la investigación que se realizará durante la investigación (Kiani, 2022).

Por diseño de investigación (Di) se define al procedimiento, método y técnica por el cual se planificará y analizará la información. Cada Di tiene sus propias características, ventajas y limitantes; clasificándose no solo de acuerdo con su finalidad, analítica o descriptiva, sino también de acuerdo con su naturaleza temporal prospectiva, retrospectiva o transversal. A su vez, la selección del diseño depende de los objetivos generales y específicos del PiAM, pues estos permitirán la generación epistemológica de nuevo conocimiento por medio de análisis estadísticos específicos (Argimón-Pallas y Jiménez-Villa, 2019; Hernández-Muñoz et al., 2025a).

Asimismo, hay que considerar que actualmente áreas de posgrado y pregrado en medicina solicitan la publicación de los resultados de un PiAM, tanto como criterios de titulación o como elementos curriculares para ingreso a especialidades en áreas de la salud (Mayyas y Alzoubi, 2022). Sin embargo, las tasas de rechazo de las revistas médicas han aumentado a más del 70%, atribuido en su mayoría a errores en la selección del diseño de investigación y del análisis estadístico-metodológicos. Si bien estos un manuscrito puede estar teóricamente bien estructurado, una deficiencia en el diseño de su Am afectará no solo sus resultados, sino además la difusión de estos mismos (Hernández-Muñoz et al., 2025b)

Considerando lo anterior, es esencial reconocer los diversos tipos de Di que existen en las investigaciones médicas, pues poseen alcances diferentes. Dadas las diferentes características y la

naturaleza epistemológica de cada uno, ningún diseño pueda abordar diferentes interrogantes, ya que cada uno tiene temporalidades y finalidades diferentes (Aguilera-Equía et al., 2024). Al ser la elección del Di crucial para una investigación, así como para la validez de sus resultados, entonces el propósito del presente artículo será describir las características, ventajas y limitaciones de los principales diseños de investigación utilizados en áreas médicas.

Metodología

Se realizó una búsqueda de la información específica para manuscritos de revisión narrativa en motores de búsqueda como *Google Académico* y bases de datos internacionales como *Pubmed*. A diferencia de las búsquedas bibliográficas más estructuradas y sistemáticas, este tipo de revisiones buscan la redacción de la información de una manera más descriptiva (Sukhera, 2022). Al no haber criterios de selección o tamizaje específicos también se consultaron libros de metodología de investigación y estadística, por autores como Argimón-Pallás, Celis de la Rosa, Gordis y White.

Resultados

Características metodológicas de los diseños

Como tal, un Di es un plan o estrategia metodológica; dirige la recolección, análisis e interpretación de datos, con el fin de responder las preguntas que plantea la investigación (Calle-Mollo, 2023). Los diseños se pueden clasificar dependiendo del eje sobre el cual se quiera abordar el Am, como puede ser basados en la finalidad de la investigación, en su secuencia temporal, en el control de la asignación de sus factores de estudio, o en el inicio del estudio en relación con la cronología del evento que se está estudiando

(Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Calle-Mollo, 2023).

Al considerar la asignación de los factores del estudio, este engloba dos tipos de diseños: experimentales y observacionales. En los primeros, se pueden manipular una o más variables independientes, controlando el factor principal de estudio y evaluando causalidades por medio de intervenciones. En cambio, los Di observacionales no manipulan las variables, encargándose de medir y analizar los fenómenos que ocurren naturalmente; buscando asociaciones, correlaciones y diferencias entre poblaciones (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Hernández-Muñoz et al, 2025b).

Por otro lado, cuando el Di que utilizará el PiAM basará en la cronología de cómo se recolectarán la información, estos se pueden clasificar en investigaciones prospectivas y retrospectivas. En los estudios prospectivos se sigue a los participantes de la investigación hacia el futuro, observando la aparición de eventos posterior a una exposición (Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016). Por otro lado, cuando el análisis será retrospectivo, se entiende que se trabajará con datos ya existentes, donde una población de pacientes presenta el *evento* de interés o la enfermedad, buscando analizarse si la exposición pasada se asocia a esta enfermedad (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Lima-Gómez, 2023).

No obstante, independientemente de la naturaleza temporal o metodológica del Di, su elección depende del objetivo del PiAM. Tanto los objetivos generales, como específicos, guiarán el proceso metodológico en cómo se desarrollará la investigación y su selección dependerá de los estadios cognitivos de la taxonomía de Bloom (Peñaloza-Carreón, Mayorga-Ponce y Roldan-Carpio, 2022). Ante ello, niveles como *crear*, *evaluar*, *analizar* o *aplicar* orientarán al uso de Di experimentales, prospectivos o documentales. Por otro lado, diseños transversales o de reportes de caso, que no requieren un grupo comparativo,

seleccionarán objetivos como *conocer* o *comprender* (Hernández-Muñoz et al., 2025b).

Considerando lo anterior, se describirán a continuación los Di de acuerdo con su naturaleza temporal, prospectivos, así como retrospectivos, al igual que a su tipo de análisis de los factores de estudio:

1. Diseños experimentales

Ensayos Clínicos e Intervenciones Educativas

El Ensayo Clínico (EC) es un tipo de Di experimental y prospectivo, en el cual evalúa intervención farmacológica en términos de seguridad y eficacia (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Mollo, 2023). Estas intervenciones médicas incluyen medicamentos y son caracterizados por ser diseños prospectivos y comparativos, pues una parte de la población recibirá un fármaco a evaluar, mientras que otro grupo comparativo se le ofrecerá un placebo. Disponen de cuatro fases y principalmente se caracterizan una aleatorización en la asignación de su exposición, como de seguir los elementos presentes en los criterios de la Declaración CONSORT para que sus futuros resultados tengan validez interna y externa (Kandi & Vadakedath, 2023).

Igualmente, para evitar sesgos en los resultados, el EC se puede clasificar de acuerdo con el cegamiento con el que se le asignará la exposición: en los estudios simple ciego, el investigador es el único que conocerá quién recibirá la intervención y quién tendrá el placebo. Por el contrario, en los estudios con doble cegamiento, ni el investigador ni los participantes sabrán quién recibe la intervención y quién no. Ya un tercer tipo de cegamiento involucra tener un evaluador externo que desconozca la asignación de la exposición (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

Mientras que los EC son útiles para evaluar la eficacia de una intervención médica, ya sea un fármaco o un dispositivo, existen otros tipos de ensayos como son las Intervenciones educativas (Ie), o estudios cuasi-experimentales, que carecen de asignación aleatoria. Basados en los ítems de la Declaración TREND, este tipo de estudios evalúan la presencia de una sesión educativa y comparan sus resultados, antes (*pretest*) y después (*posttest*) de la intervención (Kandi & Vadakedath, 2023). A pesar de esto último, ambos diseños sirven para ampliar el conocimiento médico y mejorar la atención médica disponible (Kandi & Vadakedath, 2023), pero su naturaleza prospectiva implica un alto costo y seguimiento en su realización.

2. Diseños prospectivos y retrospectivos

Estudios de cohorte

Por otro lado, entre los Di prospectivos se encuentra el estudio de cohorte (CoH), el cual realiza un seguimiento para determinar las incidencias de casos nuevos y sus posibles riesgos (Wang y Kattan, 2020). Este diseño permite la selección de los participantes de acuerdo con una exposición determinada, siendo observados por un periodo de tiempo para analizar las consecuencias de la exposición a dicho factor de riesgo (White, 2021). Uno de sus principales análisis es el de *asociación*, por lo que debe existir un grupo expuesto que se comparará contra un grupo control sin esta característica (Celentano, Szklo, y Farag, 2024).

Este tipo de estudios pueden ser prospectivos, cuando el evento de interés inicia posterior al inicio del estudio (White E., S. 2021). Sin embargo, también existen los estudios de CoH retrospectivos, los cuales utilizan información de encuestas pasadas, seleccionando a la población expuesta para estudiar el efecto que tuvo (Celentano, D. D., Szklo, M., & Farag, Y, 2024). En este subtipo de cohortes, el resultado ya se ha producido, por eso su

naturaleza retrospectiva (Wang, X., & Kattan, M. W. 2020).

Mientras los anteriores diseños, los EC e IE, atienden estadios cognitivos como el *proponer*, *evaluar*, *aplicar* y *analizar* una intervención (Hernández-Muñoz et al., 2025b), los estudios de CoH utilizan los objetivos de la taxonomía de Bloom como *determinar* y *analizar* asociaciones y correlaciones. Ante ello los estudios que trabajan cohortes buscan confirmar una hipótesis sobre la relación intercausal de causa-efecto entre la exposición a un factor de riesgo y la presencia de un evento (Wang y Kattan, 2020; White, 2021).

Asimismo, las investigaciones médicas utilizan este diseño de investigación para construir modelos de pronóstico y predicción (Wang y Kattan, 2020). En las investigaciones clínicas, epidemiológicas y biomédicas, son muy útiles para calcular las tasas de incidencia, riesgos relativos y riesgos atribuibles; sin embargo, una de sus principales limitantes depende de su temporalidad, pues el costo de su realización impide que todos los estudios utilicen este diseño (Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016)

Estudios de casos y controles

A diferencia de los estudios de CoH, los diseños de Casos y Controles (CyC) son investigaciones usualmente retrospectivas, sobre las cuales se identifican y comparan dos grupos de poblaciones: *casos*, conformados por individuos que presentan un evento de interés, así como un grupo de *controles* formado por individuos quienes no tienen esta característica. Este diseño resulta eficiente para evaluar de forma rápida y económica las exposiciones previas o los factores de riesgo, con el fin de determinar asociaciones de causa-efecto (Argimón-Pallás & Jimenez-Villa, 2019; Tenny, Kerndt y Hoffman, 2023).

A diferencia de otros diseños, los PiAM que utilizan este tipo de estudio no pueden calcular incidencias ni riesgos, pues el principal análisis que realiza es la estimación de la Razón de Momios u *Odds Ratio*, la cual mide la asociación entre un probable factor de riesgo y la presencia de una enfermedad. Pese a lo anterior, la naturaleza retrospectiva del diseño de CyC hacen que esté sujeto a múltiples sesgos, tanto de recuerdo, como de selección e información; por ello, es relevante asegurar que los resultados obtenidos reflejen con mayor precisión la relación entre exposiciones y eventos (Tenny, Kerndt y Hoffman, 2023).

Al igual que los diseños de CoH, los estudios de CyC pueden clasificarse según su diseño metodológico. En cuanto a la fuente de selección, pueden ser hospitalarios, cuando los participantes provienen de centros de salud; poblacionales, si se reclutan de una población definida en tiempo y espacio; o anidados en cohortes, donde los participantes dentro de una cohorte ya existente. Igualmente, dependiendo del emparejamiento entre casos y controles, pueden ser pareados si coinciden en variables como edad, sexo o raza, o no pareados, cuando no se busca esta coincidencia (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Soto & Cvetkovic-Vega, 2020).

3. Diseños transversales

Estudios de prevalencia o transversales, así como transversales analíticos

Los Di de prevalencia o estudios Transversales (ET), son aquellos Di observacionales que, de forma individual, miden una o más variables dentro de un momento dado. En PiAM de tipo clínicos y epidemiológicos, su objetivo es determinar características observacionales en una sola medición específica, estimando el número de sujetos que en la población general tienen la característica o evento de interés, ya sea la incidencia de casos nuevos o la prevalencia de

casos existentes (Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016). No obstante, no permiten establecer relaciones causales ni analizar la evolución de las variables a lo largo del tiempo (Vega et al., 2021).

Por otro lado, los estudios Transversales Analíticos (TA) se enfocan no solo en la identificación de prevalencias y distribución de las variables, sino que a su vez permiten generar asociaciones entre las variables estudiadas, comparando la población que se identificó con el evento de interés, contra quienes no tuvieron esta característica (Cabrera-Tenecela, 2023). Los diseños TA miden simultáneamente la exposición y la enfermedad de los individuos, permitiendo el mismo tipo de análisis que los CyC, pero sin cumplir características tan específicas en su cálculo de muestra o pareamiento (Soto & Cvetkovic-Vega, 2020).

Estos estudios son importantes en la medicina porque nos permiten determinar la prevalencia de una enfermedad, determinando asociaciones entre las variables sin una relación causal. Igualmente, tanto los ET como los diseños TA, pueden ser útiles para medir la validez y precisión de pruebas diagnósticas, así como su validez y sensibilidad (Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016). No obstante, estos Di no solo tienen las mismas limitantes que los diseños de CyC, sino que además su naturaleza descriptiva no permite análisis más avanzados -Sobre todo en los ET (Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016; Manterola et al., 2023).

Discusión

La adecuada elección del diseño no solo permitirá el cumplimiento de los objetivos de PiAM, sino que además guiará el plan de análisis que se realizará durante el desarrollo del proyecto. Diseños como los EC y las Ie permitirán realizar correlaciones y analizar diferencias entre grupos poblacionales, mientras que estudios como las CoH, los CyC, así

como los ET y TA facilitarán la obtención de prevalencias e incidencias, al igual que la determinación de asociaciones entre riesgos y exposiciones. Sin embargo, la elección del tipo de análisis no solo depende del objetivo de la taxonomía de Bloom y su respectivo diseño, sino también del tipo de *variables* con las cuales se esté trabajando (Hernández-Muñoz et al., 2025).

Diseños de investigación documentales

A parte de los anteriores Di, se pueden hacer investigaciones cuya naturaleza epistemológica sea de tipo documental, es decir, que analicen información encontrada a partir de revisiones bibliográficas (Hernández-Muñoz et al., 2024). Uno de estos diseños es el *metaanálisis*, el cual combina los resultados de múltiples estudios primarios, sobre todo de EC, los evalúa y propone un efecto global mediante modelos matemáticos. Este tipo de estudio es fundamental en la investigación biomédica y epidemiológica, pues permite generar conclusiones más precisas que lo obtenido de investigaciones individuales (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

Por otro lado, también se encuentran las *revisiones sistemáticas*, las cuales también recopilan y sintetizan la evidencia existente sobre un tema. Al igual que los *metaanálisis*, basan su estructura metodológica en las directrices de la Declaración PRISMA y aportan altos niveles de evidencia científica (Page et al., 2021). A pesar de que ambos diseños atienden estadios cognitivos superiores de la taxonomía de Bloom, tales como *evaluar* y *proponer*, su metodología presenta sesgos de publicación. Igualmente, su realización requiere amplio conocimiento estadístico, así como un tiempo considerable debido a las etapas de búsqueda sistemática, que se deben de realizar (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

Reportes de casos y diseños ecológicos

Ahora bien, tanto las investigaciones clínicas como biomédicas pueden utilizar diseños que respondan a los niveles más básicos de *Bloom*, como *conocer* y *comprender* (Hernández-Muñoz et al., 2025). Basados en los lineamientos de las Guías CARE, estos Di son conocidos como *reportes o series de casos*, los cuales documentan de forma detallada el curso clínico de un paciente típicamente con hallazgos inusuales o novedosos. Aunque se considera evidencia de bajo nivel por carecer de grupo control y no establecer asociaciones causales como otros diseños, son fácilmente realizables a diferencia de estudios prospectivos (Ibarra, Pinzón, & Medina, 2023).

Por otro lado, las investigaciones epidemiológicas también responden estos mismos niveles cognitivos por medio de los diseños ecológicos, los cuales analizan datos poblacionales para explorar correlaciones entre exposiciones y generar hipótesis teóricas sobre estos eventos. Son de bajo costo y útiles para las investigaciones sobre vigilancia epidemiológica, así como de análisis de tendencias. Sin embargo, su principal limitación es la falacia ecológica: las asociaciones observadas a nivel grupal no reflejan necesariamente lo individual, lo cual evita que sus resultados se puedan generalizar a otras poblaciones (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Celis de la Rosa y Labrada-Martagón, 2016).

Reflexiones finales

A pesar de que el manuscrito sintetiza los diferentes tipos de Di y sus aproximaciones metodológicas, no se mencionan otros tipos de diseños que puedan servir a investigaciones epidemiológicas, como son los estudios de naturaleza cualitativa basados en paradigmas sociomédicos (Calle-Mollo, 2023; Hernández-Muñoz et al., 2025a). Sin embargo, la utilidad del artículo recae en que la presentación de las limitaciones y ventajas estadísticas de cada

diseño, así como su vínculo con los objetivos de la Taxonomía de *Bloom* permitirá que el investigador pueda dirigir el Am de su proyecto y que sus futuros resultados tengan validez científica y metodológica.

Conclusión

Los Di aportan herramientas complementarias a la generación de conocimiento en salud, así como aseguran que la investigación se realice con integridad científica, metodológica y estadística. Debido a que la validez de un proyecto depende de la correcta estructuración de su Am, la correcta elección del diseño no solo permitirá que se cumplan los objetivos que haya planteado el PiAM, sino su registro y aprobación ante comités de investigación. Esto último permitirá que se inicie el proyecto y, a través de sus futuros resultados, se generarán nuevas evidencias médicas

Contribuciones de los autores

AEHM, DXCM, MJB, DRA, MLS y AMP idearon y redactaron el borrador inicial del manuscrito. VSMG y KMHM revisaron que las referencias estuvieran de acuerdo con lo solicitado por la revista, así como corrigieron la metodología, ortografía y sintaxis del documento.

Abreviaturas (en orden de aparición)

PiAM: Protocolo de investigación.

Di: Diseños de investigación.

Am: Apartado metodológico.

EC: Ensayo Clínico.

Ie: Intervenciones Educativas.

CoH: Cohortes.

CyC: Casos y Controles.

ET: Estudios Transversales.

TA: Transversales Analíticos.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Referencias

Aguilera-Eguía, R., Eguía, R. A., Videla, Á. R., Soto, O. P. L., Serna, B. H., Polevoy, G. P., y Barria, H. F. (2024). Selección del diseño apropiado en investigación biomédica: Fundamentos y consideraciones para la práctica basada en evidencia. Parte I. *Medisur*, 22(1), 210-215. <http://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/44997>

Argimon-Pallàs, J. M., y Jiménez-Villa, J. (2019). *Métodos de investigación clínica y epidemiológica* (5ª Ed.). Elsevier. <https://www.clinicalkey.es/#!/browse/book/3-s2.0-C20150020111>

Cabrera-Tenecela, P. (2023). Nueva organización de los diseños de investigación. *South American Research Journal*, 3(1), 37-51. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8050508>

Calle-Mollo, S. E. (2023). Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1865-1879. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7016

Celentano, D. D., Szklo, M., Farag, Y. M., y Gordis, L. (2025). *Gordis epidemiology* (7ª Ed.). Elsevier.

Celis-de-la-Rosa, A. de J., y Martínez-Moreno, M. (2016). *Bioestadística* (3ª Ed.). Manual Moderno. Cvetković-Vega, A., Maguiña, J. L., Soto, A., Lama-Valdivia, J., y Correa López, L. E. (2021). Cross-sectional studies. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 21(1), 164-170. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v21i1.3069>

Díaz-Ibarra, E. A., Abella-Pinzón, J. A., y Medina, Y. F. (2023). Metodología: Cómo realizar un informe de caso o informe de serie de caso. *Revista Colombiana de Reumatología*, 30(2), 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.rcreu.2021.05.022>

Hernández-Muñoz AE, García-Astorga, B., Ramírez-Mendoza, D. I., Soriano-Pérez, T., Camargo-Peñalosa, M. D., Céspedes-Martínez, B. S., Rangel-García, C. J., Villaseñor-Cuspinera N. G. y González-Sánchez, R. M. (2025a). Elementos esenciales del Marco Teórico que los proyectos de investigación clínicos y epidemiológicos deben contener. *Nthe*, 47, 108-118. <https://nthe.mx/detallesrev.php?id=79>

Hernández-Muñoz, A. E., Martínez-Mosso, S. N., Ugalde-Barrón, S., Mendoza-Fonseca, M. P., Aguilar-Ramos, L. M., Álvarez-Alvarado, J., Gutiérrez-Álvarez, I. A., y González-Sánchez, R. M. (2025b). Guía para la elaboración del apartado metodológico de protocolos de investigación clínicos, biomédicos y epidemiológicos. *Digital Ciencia@UAQRO*, 18(1), 81-98. <https://doi.org/10.61820/dcuaq.2395-8847.v18n1.1699>

Hernández-Muñoz, A. E., Ugalde-Barrón, S., Ramírez-Mendoza, D.I., Soriano-Pérez, T. Maciel-Caracoza, E. Y., Pérez-Pérez, A., & López-Zapata, V.E. (2024b). Tipos de revisiones de la literatura en las investigaciones clínicas: ventajas y utilidades en áreas de investigación y en el campo clínico. *Nthe*, 45(1), 26-34. <https://nthe.mx/detallesrev.php?id=74>

Kandí, V., y Vadakedath, S. (2023). Clinical Trials and Clinical Research: A Comprehensive Review. *Cureus*, 15(2), e35077. <https://doi.org/10.7759/cureus.35077>

Kiani, A. K., Pheby, D., Henahan, G., Brown, R., Sieving, P., Sykora, P., Marks, R., Falsini, B., Capodicasa, N., Miertus, S., Lorusso, L., Dondossola, D., Tartaglia, G. M., Ergoren, M. C., Dundar, M., Michelini, S., Malacarne, D., Bonetti, G., Donato, K., ... Bertelli, M. (2022). Methodology for clinical research. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, Vol. 63 No. 2S3, E267 Pages. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/JPMH2022.63.2S3.2769>

Lima-Gómez, V. (2023). Los diseños de investigación a partir de los efectos. *Cirugía y Cirujanos*, 91(2), 145-145. <https://doi.org/10.24875/CIRU.22000542>

Manterola, C., Hernández-Leal, M. J., Otzen, T., Espinosa, M. E., y Grande, L. (2023). Estudios de corte transversal. Un diseño de investigación a considerar en ciencias morfológicas. *International Journal of Morphology*, 41(1), 146-155. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022023000100146>

Mayyas, F., y Alzoubi, K. (2022). Awareness and knowledge of manuscript writing and research integrity: A cross sectional survey among graduate students. *Heliyon*, 8(11), e11447. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11447>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-

- Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Peñalosa-Carreón, J. E., Mayorga-Ponce, R. B., y Roldan-Carpio, A. (2022). Correcto uso de la Taxonomía de Bloom para desarrollar objetivos. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 11(21), 63-65. <https://doi.org/10.29057/icsa.v11i21.9779>
- Soto, A., y Cvetkovic-Vega, A. (2020). Estudios de casos y controles. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(1), 138-143. <https://doi.org/10.25176/RFMH.v20i1.2555>
- Sukhera, J. (2022). Narrative reviews: Flexible, rigorous, and practical. *Journal of Graduate Medical Education*, 14(4), 414-417. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-22-00480.1>
- Tenny, S., Kerndt, C. C., & Hoffman, M. R. (2025). Case control studies. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448143/>
- Torales, J., y Barrios, I. (2023). Diseño de investigaciones: Algoritmo de clasificación y características esenciales. *Medicina Clínica y Social*, 7(3), 210-235. <https://doi.org/10.52379/mcs.v7i3.349>
- Wang, X., y Kattan, M. W. (2020). Cohort studies. *Chest*, 158(1), S72-S78. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.014>
- White, S. E. (2021). *Bioestadística Básica y Clínica* (5ª Ed.). McGraw-Hill. <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=3043ysectionid=257473577>

Tabla 1
Clasificación y principales características de los diseños de investigación

Diseño	Descripción y su relación con los objetivos de Bloom	Temporalidad	Metodología	Declaración
Metaanálisis	<i>Evalúan y analizan</i> la información de diferentes ensayos clínicos, encontrando diferencias y similitudes por medio de análisis estadísticos. <i>Proponen</i> nuevas evidencias científicas.	Documental	Analítica	PRISMA: <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.</i>
Revisión sistemática	<i>Evalúan y analizan</i> la información de diferentes estudios observacionales, <i>proponiendo</i> nuevas evidencias científicas de acuerdo a la comparación de la información.			
Ensayos clínicos	<i>Evalúan, analizan y aplican</i> la eficacia y efectos de tratamientos farmacológicos en una población, comparándola contra otra que solo recibirá un placebo. Implican aleatorización y cegamiento.	Prospectivo	Experimental	CONSORT: <i>Consolidated Standards of Reporting Trials.</i>
Intervenciones educativas	<i>Evalúan, analizan y aplican</i> la presencia de una sesión educativa en un grupo, contra la ausencia de esta, midiendo y comparando los resultados antes de la sesión (<i>pretest</i>) y después de esta (<i>postest</i>).	Prospectivo	Cuasi-experimental	TREND: <i>Transparent Reporting of Evaluations with Nonrandomized Designs</i>
Cohortes	<i>Analizan y comprenden</i> la asociación que hay entre una incidencia de casos nuevos y la exposición a un factor. Sigue a la población de manera prospectiva para determinar asociaciones y riesgos relativos.	Prospectivo, en su mayoría	Observacional	
Casos y Controles	<i>Analizan y comprenden</i> la asociación entre factores de riesgo y la presencia de una enfermedad en un grupo de casos, comparándolos contra controles sin este evento -utiliza análisis de <i>odds ratio</i> .	Retrospectivo, en su mayoría	Observacional	STROBE: <i>Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology</i>
Estudios transversales y transversales analíticos	<i>Analizan y comprenden</i> de manera simultánea la exposición y la prevalencia de una enfermedad. Los diseños transversales analíticos, se pueden realizar análisis de asociación por medio de <i>odds ratio</i> .	Transversal	Observacional	
Diseños ecológicos	<i>Comprenden y conocen</i> datos agrupados de poblaciones. Útiles para explorar asociaciones entre factores contextuales, desenlaces en salud y generan hipótesis cuya comprobación no es necesaria.	No aplica	Descriptiva	
Reportes o series de casos	<i>Comprenden y conocen</i> la información de un caso clínico inusual, los cuales implican la descripción de efectos adversos o enfoques diagnósticos nuevos.	No aplica	Descriptiva	CaRE: <i>Case Report Guidelines.</i>

Nota: tabla elaborada por autores del manuscrito.

Principios éticos que deben considerarse para la correcta realización y registro de investigaciones clínico-epidemiológicas

Dra. Daira Nayeli Soriano-Hernández, Dra. Ángela Paulina Valdez-Quezada, Dr. Adrián Enrique Hernández-Muñoz, Dra. Ana Karen Rubí-Cortés, Dra. Guadalupe Jacqueline Ruiz-Cruz, Dra. María José Núñez-Olvera, Dr. Guillermo López-Zamudio, Dr. Alejandro Aguirre-López, Dra. Vanessa Lizette Islas-Muñoz

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro

Resumen

Introducción. La ejecución de Protocolos de investigación (Pi) clínico-epidemiológico, y su registro ante Comités de Investigación, dependerá tanto de sus fundamentos teórico-metodológicos, como de los elementos éticos que protegerán la integridad de sus futuros participantes. Por ello, el objetivo del manuscrito será describir los principios éticos que deben considerarse para la realización y registro de dichas investigaciones. **Metodología.** Se realizó una búsqueda bibliográfica de tipo narrativa en bases de datos y motores de búsqueda. Asimismo, se revisaron libros y normativas legales que especificasen para la correcta realización de proyectos de investigación en territorio mexicano. **Resultados.** Todo proyecto de investigación deberá considerar tres pilares éticos: la *justicia*, permitiendo la participación equitativa de toda persona a la investigación, así como el principio de *beneficencia / no maleficencia*. Igualmente, se debe de considerar el principio de *autonomía*, permitiendo la participación libre y voluntaria a la investigación. A su vez, el Pi deberá describir las normativas, leyes y artículos que sustenten estos principios, así como anexar una hoja de consentimiento informado al final del protocolo. Este documento deberá de especificar como es que se respetarán tanto estos principios, así como la *confidencialidad* de los participantes del estudio.

Conclusión. El conocer estos principios éticos, y describir su aplicación dentro de un Pi, permitirá no solo su aceptación ante un Comité de Ética, sino además la validación de sus futuros resultados. De esta manera, la información podrá ser aplicable en futuras investigaciones, así como en la toma de decisiones clínica.

Palabras Clave (DeCS): justicia; beneficencia; autonomía; consentimiento; comité, ética.

Abstract

Background. The implementation of a clinical-epidemiological Research Protocol (Rp) and its registration within research committees will depend on both its theoretical and methodological framework, along with the ethical elements that will protect the integrity of its future participants. Therefore, the objective of this manuscript will be to describe the ethical principles that must be considered for the conduct and registration of such research projects. **Methodology.** A narrative bibliographic search was conducted in databases and search engines. Similarly, books and legal regulations that specify the proper conduct of research projects in Mexico were also reviewed. **Results.** Every research project must consider three ethical pillars: justice, allowing the equal participation of all people in the research, as well as the principles of beneficence/non-maleficence. Likewise, the principle of autonomy must be considered, allowing free and voluntary participation in the research. In turn, the Rp must describe the regulations, laws, and articles that support these principles, attaching an informed consent document as well, at the end of the protocol. This document must specify how these principles will be respected, along with the study participant's confidentiality. **Conclusion.** Understanding these ethical principles and describing their application within a Rp, will allow not only for the research to be accepted by an Ethics Committee, but also for the validation of its future results. In this way, the information obtained can be applied to future research projects, as well as to clinical decision-making.

Keywords (MeSH): justice; beneficence; autonomy; consent; ethics, committee.

Introducción

“Actuar con responsabilidad no se trata de fortalecer nuestra razón, sino de profundizar nuestros sentimientos por el bienestar de los demás”.

El mundo se Sofía (1991). Jostein Gaarder.

En el ámbito de la salud, un proyecto de investigación es una herramienta esencial para generar nuevo conocimiento, el cual se puede traducir en beneficios para los pacientes y la sociedad en general. A su vez, dependiendo si la investigación es clínica, se podrá identificar nuevos elementos diagnósticos o terapéuticos sobre un proceso patológico o, en caso de realizarse investigaciones con enfoques epidemiológicos, se podrá trabajar con grandes tasas de poblaciones de pacientes con el fin de responder preguntas relevantes sobre asociaciones entre determinantes sociales y la presencia de enfermedades (Argimón-Pallas y Jiménez-Villa, 2019; Torales y Barrios, 2023).

Independientemente del tipo de estudio, la ejecución de una investigación no solo requiere de su rigurosidad científica, sino de su adecuado registro y aceptación ante un *Comité de Ética e Investigación* (Sontakke y Bhanarkar, 2022). Para realizarse debe de presentarse el proyecto a través de un documento conocido como Protocolo de investigación (Pi), el cual deberá describir los elementos teóricos, metodológicos y operativos que se realizarán. Igualmente, este documento deberá relatar el compromiso ético que tendrá la investigación, pues garantizará que los derechos humanos de los participantes estén protegidos, respetando su dignidad y autonomía (Argimón-Pallás & Jiménez-Villa, 2019).

La relevancia de estos elementos de ética en un Pi es que salvaguardarán no solo la legalidad de la participación voluntaria de los participantes, sino a

su vez asegurarán la protección de los participantes, salvaguardando su bienestar. Para su correcta realización múltiples organismos internacionales, tales como la Declaración de Helsinki (DH) han propuesto el cumplimiento de principios éticos específicos. Igualmente, en México, la Ley General de Salud (LGS) y la Norma Técnica Número 313 (NOM-313) estipulan que toda investigación deberá especificar en su documento de protocolo la compensación ante cualquier daño derivado de cualquier posible riesgo secundario a la participación (Diario Oficial de la Federación, 2025).

Considerando lo anterior, se ha descrito que cuando una investigación no contempla estos principios de ética, así como las normativas que lo sustentan, se corre el riesgo de vulnerar los derechos de los participantes, exponiéndolos a intervenciones sin su conocimiento ni aprobación. Esta omisión puede acarrear consecuencias legales graves, además de debilitar la confianza del público en los resultados de las investigaciones médicas. Por el contrario, su inclusión fortalecerá la transparencia y la integridad científica, promoviendo una relación respetuosa entre investigadores y participantes (Asociación Médica Mundial, 2025).

Por lo tanto, los elementos de ética no solo son un requisito legal para la aprobación de un Pi, sino un acto de respeto hacia la autonomía de quienes participarán en la investigación. Representan un mecanismo fundamental para que los sujetos decidan libremente si desean formar parte de un estudio, con base en información clara, veraz y comprensible. Dada esta importancia, el presente artículo tiene como objetivo el describir los principios éticos que deben considerarse para la realización y registro de investigaciones clínico-epidemiológicas.

Metodología

Dado el objetivo del manuscrito, el presente manuscrito se realizó siguiendo la estructura metodológica para artículos de revisión narrativa (Hernández-Muñoz et al., 2024; Sukhera, 2022). Ante ello, aunque se siguieron los lineamientos de la declaración PRISMA, se realizó una búsqueda bibliográfica sin criterios de exclusión o eliminación (Sukhera, 2022). A pesar de lo anterior, se ejecutaron búsquedas en fuentes como *Google Académico*, al igual que en bases de datos tales como *Pubmed* y *Scielo*; consultándose artículos de revisión, tesis y capítulos de libro de metodología de investigación clínica.

Igualmente, para la redacción del documento, se tomó a consideración lo comentado por la NOM-313 para proyectos de investigación mexicanos clínicos y epidemiológicos. Dicho documento comenta que, para el adecuado registro de un proyecto ante un *Comité de Ética e Investigación*, se deben de tomar en cuenta las declaraciones y normativas sobre las cuales se basan los principios éticos, así como la clasificación de riesgos en investigación, junto con la presencia de un documento de consentimiento (Diario Oficial de la Federación, 2025; Sontakke y Bhanarkar, 2022). Ante ello, también se buscaron publicaciones que hablaran sobre estos elementos.

Resultados

Normativas éticas necesarias para la investigación clínica

Según la NOM-313, para poder iniciar un P_i este debe ser previamente registrado ante un *Comité de Ética e Investigación*. Este se asegurará de que el apartado de Consideraciones Éticas del Protocolo de investigación (CEPi), el cual va después del capítulo de análisis estadístico, comente las normativas morales que se considerarán para la protección de los participantes (Diario Oficial de la

Federación, 2025). Esto no solo certificará la transparencia en la publicación de resultados y el acceso posterior a tratamientos efectivos para los participantes, sino además mantiene la integridad científica al asegurar que una investigación siguió lineamientos morales para cumplir sus objetivos (Khalid, 2020).

Para poder cumplir estas cuestiones morales, las investigaciones en área de la salud deben tomar en consideración los principios éticos emitidos por la DH, la cual fue publicada originalmente en 1964 por la Asociación Médica Mundial (AMM). Esta declaración funciona como una guía para asegurar que todas las P_i respeten elementos como la dignidad, el bienestar y los derechos humanos. Su aplicación es internacional y complementa otros documentos éticos como es el Código de *Núremberg* establecido en 1947, el Informe *Belmont* publicado en 1978 y las pautas del Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas (CIOMS por sus siglas en inglés).

A su vez, la AMM resalta que todo P_i debe asegurarse que los beneficios que se obtendrán del proyecto superarán los posibles riesgos (Asociación Médica Mundial, 2024). Para asegurar esto en territorio mexicano, se creó la LGS en 1984 la cual, junto con la DH y el Informe *Belmont*, refieren que toda investigación debe describir como se respetará la *autonomía* individual y voluntaria de cada participante, así como la no *maleficencia* y *beneficencia* (Asociación Médica Mundial, 2024). Estos principios, junto con el elemento de *justicia*, fueron expuestos originalmente por el Informe *Belmont* en tres niveles jerárquicos, los cuales deben estar presentes en el documento del protocolo para que este pueda ser correctamente registrado (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

1. Primer nivel jerárquico: principio de *justicia*

El primer principio ético que se debe de considerar al momento de redactar un proyecto es el de

justicia, el cual regulará la repartición de beneficios y responsabilidades durante el acto de la investigación. Está sustentado en el sentido de solidaridad social, planteando que todas las personas son iguales y serán tratadas durante la investigación con el mismo respeto y consideración. Otro de los enfoques que tiene presente este elemento es el de la distribución de recursos, por lo que se recomienda que se deben de redactar cuestiones como equilibrio social, junto con la atención de las necesidades clínicas y médicas de los sujetos del estudio (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Vidal, 2022).

A su vez, la *justicia* enfatiza la visión de que el participante de un Pi será un medio y no un fin, asegurando la futura protección de sus derechos (Vidal, 2022). A través de los enunciados de la DH, así como de los artículos de la LGS, se regula este principio, solicitando el requerimiento obligatorio de un Consentimiento informado (Ci) antes de iniciar el estudio (Diario Oficial de la Federación, 2025; Secretaría de Salud, 2012). Igualmente, la DH establece que una investigación en una comunidad vulnerable solamente se justifica si responde a las necesidades de esta misma, pero que aun así se debe de redactar en el apartado de CEPi los posibles beneficios clínicos, así como la indemnización por posibles riesgos (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

2. Segundo nivel jerárquico: principio de *no maleficencia / beneficencia*

Por otro lado, los principios éticos de *no maleficencia / beneficencia* constituyen pilares fundamentales en la ética clínica de toda investigación. El primero implicará la obligación moral de la investigación de “no hacer daño”, evitando intervenciones que puedan causar sufrimiento o consecuencias negativas innecesarias; por otro lado, el segundo, promoverá acciones que prevengan el daño (Ferro et al., 2009;

Varkey 2021). Un Pi debe de informar tanto en el apartado de CEPi, como en el Ci la veracidad sobre los riesgos que pueda tener el proyecto, sin imponer decisiones desde una visión paternalista o autoritaria (Diario Oficial de la Federación, 2025).

La DH complementa este marco ético al establecer que toda investigación médica debe estar precedida por una cuidadosa evaluación del balance riesgo-beneficio. Los artículos 16 al 18 enfatizan que el bienestar del sujeto debe prevalecer sobre los intereses de la ciencia y que ningún estudio debe realizarse si los posibles riesgos superarán a los beneficios esperados (Asociación Médica Mundial, 2025). Por lo tanto, el protocolo debe de plantear en correctamente en su marco teórico su justificación, objetivos y metodología, con el fin de que permitan el cumplimiento ético de la investigación (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019).

Considerando lo anterior, pueden existir escenarios de investigación complejos que presenten dilemas éticos entre la presencia de riesgos-beneficios y el cumplimiento metodológico del Pi. Ejemplo de ello son casos particulares donde para evitar riesgos se restrinja la libertad de pacientes lo cual, aunque podría evitar complicaciones clínicas, atenta contra el principio de *autonomía* del participante. Ante ello, es necesario la aplicación reflexiva y con prudencia al momento de redactar estos principios, asegurándose de que, aunque existan más beneficios clínicos que riesgos médicos, siempre se tomará en cuenta el respeto a los derechos del paciente (Zhou et al., 2024).

3. Tercer nivel jerárquico: principio de *autonomía*

Por último, el principio ético de *autonomía* es un concepto ético y filosófico fundamental en la investigación; establece que toda persona en pleno uso de sus facultades mentales tiene el derecho de decidir, de manera libre y racional, su participación voluntaria en un Pi. Este elemento se sustenta en las

ideas de filósofos como Immanuel Kant y John Stuart Mill, quienes postulan que cada individuo posee un valor intrínseco y la capacidad de autodeterminación moral (Varkey, 2021). Su importancia radica en que permitirá la protección de la dignidad, los derechos humanos y el bienestar de los sujetos de estudio (Gómez-Vírseda & Usanos, 2021).

Respetar el principio de *autonomía* implica que durante la investigación se proporcionará información clara, veraz y comprensible de esta misma. Esto con el fin de que la persona que ingresará como sujeto de estudio pueda tomar decisiones informadas sobre su participación. Igualmente, para cumplir este principio, el Pi deberá anexar en su documentación un Ci que solicite el permiso de los participantes. Este documento deberá respetar el principio legal de la *confidencialidad* de la información personal de los participantes del estudio: punto importante que no solo debe de estar descrito en este documento anexo, sino que además debe de estar redactado en el apartado de CEPi (Martínez & Álvarez, 2019).

Discusión

Elementos de la investigación en los apartados de ética del protocolo

Como se comentó previamente, la NOM-313 especifica que, para el correcto registro de un protocolo, debe de contener un apartado conocido como CEPi. En dicha sección se debe comentar no solo de nuevo la información del Pi, sino su relación con los tres pilares éticos previamente discutidos (Hernández-Muñoz et al., 2025; Diario Oficial de la Federación, 2025). Asimismo, y para transparencia legal del proyecto, se deberán nombrar y citar las declaraciones, leyes y normativas de ética que sustenten estos argumentos, así como sus respectivos artículos y enunciados (Tabla 1). Otro aspecto importante que se debe de redactar son

los posibles riesgos que habrá durante la realización del proyecto, así como sus tipos y clasificación (Diario Oficial de la Federación, 2025).

Los riesgos pueden ser físicos, psicológicos o sociales; clasificándose según su magnitud: una *investigación sin riesgo* es cuando se emplearán técnicas y métodos de investigación documental. Por otro lado, si se realizarán procedimientos diagnósticos o tratamientos de rutina, así como la extracción de sangre de máximo medio litro en dos meses, entonces se deberá describir que el proyecto será una *investigación de riesgo mínimo*. No obstante, si los participantes serán expuestos a intervenciones clínicas diferentes a las de rutina, así como a la extracción de sangre mayor al 2% del volumen circulante en neonatos, entonces el Pi será una *investigación con riesgo mayor al mínimo* (Diario Oficial de la Federación, 2014).

La importancia del consentimiento y sus elementos

Tanto la DH como la LGS exigen que toda investigación contemple los posibles efectos adversos, incluyendo los riesgos previsibles y las medidas para mitigarlos. Igualmente, comentan que todo Pi debe informar estas situaciones por escrito, con el fin de no vulnerar los derechos fundamentales de los participantes (Asociación Médica Mundial, 2024). Para ello mismo, se debe anexar, al final del protocolo, una hoja de Ci en donde se establezca que la persona que va a someterse a una investigación, afirme que está participando de manera libre y voluntaria; solicitando su firma y de dos testigos adicionales - En casos particulares se pedirá a un representante legal que consienta la participación, firmando por el paciente que entrará al proyecto (López & Vega, 2017).

La AMM reconocen al Ci como una cuestión legal necesaria para respetar el principio ético de *autonomía* del paciente. A su vez, este documento

deberá describir que se garantizará el respeto a la *confidencialidad* de la información personal de los participantes (Asociación Médica Mundial, 2024). Igualmente, para una mayor comprensión teórica y metodológica, la hoja de consentimiento deberá incluir varios elementos metodológicos, éticos y teóricos (Tabla 2) entre ellos se incluye la pregunta de investigación del proyecto, su justificación y objetivos, así como una breve explicación de los procedimientos que se realizarán. Otros elementos son las compensaciones económicas, los datos de contacto para resolver preguntas y la posibilidad de retirarse de la investigación en cualquier momento sin repercusión alguna (Argimón-Pallás y Jiménez-Villa, 2019; Bolívar Machacón, 2024). El cumplimiento de estos criterios permitirá la aceptación del P_i y que se le emita un código de ética, el cual será necesario mostrar al momento de enviar los resultados del estudio para su divulgación y publicación (Hernández-Muñoz et al., 2025).

Reflexiones Finales

El presente artículo sirve como una descripción narrativa de los principios éticos que se deben de considerar al momento en que se redactará un P_i. Se describen estos elementos, así como su aplicación a proyectos de investigación, así como de redacta en que apartados de un protocolo deben de estar presentes. No obstante, una de las limitantes del manuscrito es que, por la metodología narrativa y no sistemática de la revisión (Sukhera, 2022), no se puede indagar a fondo cada uno de estos principios o comparar la aplicabilidad que hayan descrito otras investigaciones (Hernández-Muñoz et al., 2024).

A su vez, dada la extensión del artículo, no se pudieron describir cuales situaciones clínicas y médicas implican la solicitud de la firma de un representante legal, así como la diferencia legal entre un documento de *consentimiento* y uno de *asentimiento*. Sin embargo, a pesar de lo

anteriormente descrito, el haber profundizado en los contenidos teóricos de cada principio ético permitió que se comprendiera su utilidad dentro de un P_i, así como sus implicaciones morales en el campo médico. Igualmente, este artículo es importante porque comenta que la ausencia de estos principios perpetuaría las barreras estructurales para el acceso a investigaciones, las cuales podrían ofrecer nuevos métodos diagnósticos, farmacológicos y terapéuticos que mejoren la calidad de vida de los pacientes (Gantú et al., 2023).

Conclusiones

Es fundamental que los protocolos y proyectos de investigación permitan el respeto y la protección de quienes participarán en el estudio. Asegurando que la investigación se realice con integridad científica y transparencia moral, y evitando que se tomen decisiones clínicas de maneras arbitrarias o discriminatorias, que dejen desprotegidas a los participantes del estudio. Ante ello, los principios éticos de *justicia*, *beneficencia / no maleficencia* y *autonomía* permiten el cumplimiento de estos objetivos, subrayando la necesidad de considerar los derechos individuales, así como las responsabilidades morales de la investigación (Gómez-Vírveda & Usanos, 2021) Finalmente, el conocer estos principios éticos, permitirá que los resultados que se obtengan sean válidos para su futura aplicación en futuros proyectos investigación, así como en la toma de decisiones clínica.

Contribuciones de los autores

DNSH y AEHM idearon el manuscrito, estructurando el primer borrador. APVQ, AKRC, GJRC, MJNO y GLZ ayudaron con la búsqueda de la información en bases de datos y motores de búsqueda, así como en la redacción del manuscrito. Entre DNSM, AEHM y VLIM se editó y se preparó

el texto, redactando las conclusiones y reflexiones finales. Finalmente, VLIM y AAL revisaron las referencias y la versión final del artículo.

Abreviaturas (en orden de aparición)

Pi: Protocolo de investigación.

DH: Declaración de Helsinki.

LGS: Ley General de Salud.

NOM-313: Normativa Técnica No. 313.

CEPi: Consideraciones Éticas del Protocolo de investigación.

AMM: Asociación Médica Mundial

Ci: Consentimiento Informado

Conflicto de intereses

Ninguno.

Referencias

Argimón Pallás, J. y Jimenez Villa, J. (2019). Métodos de investigación clínica y epidemiológica. Barcelona, España: Elsevier.

Asociación Médica Mundial. (2025). Declaración de Helsinki – Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Recuperado el 12 de abril de 2025, de <https://www.wma.net/es/policias-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>

Bolívar Machacón, P. (2024). Consideraciones bioéticas respecto a la inteligencia artificial en consentimiento informado de ensayos clínicos [Trabajo de grado de especialización, Universidad El Bosque]. Universidad El Bosque.

Cantú Quintanilla, G., Aguiñaga Chiñas, N., López Cervantes, M., y Magaña Solano, G. (2023). Aplicación de la justicia distributiva en la asignación de recursos en medicina

crítica en la pandemia de COVID-19. *Medicina Crítica*, 37(5), 419–425. <https://dx.doi.org/10.35366/113052>

Cubillos Jiménez, B. (2021). “En nombre de la ciencia y por el progreso”: Crímenes científicos racistas y la Declaración de Helsinki [Trabajo de licenciatura, Universidad de Chile]. Universidad de Chile, Facultad de Filosofía y Humanidades.

Diario Oficial de la Federación. (2025). Norma Técnica Número 313. Para la presentación de proyectos e informes técnicos de investigación en las instituciones de atención a la salud. Gobierno de Jalisco. Recuperado el 7 de abril del 2025. <https://www.jalisco.gob.mx>

Secretaría de Salud. (2012). NOM-O12-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos. Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 2 de mayo de 2025. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5262236&fecha=04/01/2013

Ferro, M., Molina Rodríguez, L., y Rodríguez, W. A. (2009). La bioética y sus principios. *Acta Odontológica Venezolana*, 47(2), 1–6.

Gómez-Virseda, C., y Usanos, R. A. (2021). Relational autonomy: Lessons from COVID-19 and twentieth-century philosophy. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 24(4), 493–505. <https://doi.org/10.1007/s11019-021-10035-2>

Hernández-Muñoz, A. E., Ugalde-Barrón, S., Ramírez-Mendoza, D. I., Soriano-Pérez, T., Maciel-Caracoza, E. Y., Pérez-Pérez, A., y López-Zapata, V. E. (2024). Tipos de revisiones de la literatura en las investigaciones clínicas: Ventajas y utilidades en áreas de investigación y en el campo clínico. *Nthe*, 45(1), 26–34.

Hernández-Muñoz, A. E., Mosso, S. N. M., Barrón, S. U., Fonseca, M. P. M., Ramos, L. M. A., Alvarado, J. Á., y Sánchez, R. M. G. (2025). Guía para la elaboración del apartado metodológico de protocolos de investigación clínicos, biomédicos y epidemiológicos. *Digital Ciencia@ UAQRO*, 18(1), 81-98

Khalid, N. H. M. (2020). Ethics in clinical research]. *GSC Advanced Research and Reviews*, 5(2), 12-18. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2020.5.2.0091>

Martínez, I. P., y Álvarez, R. M. (2019). Importancia de los Comités de Ética en la Investigación en Medicina de Familia [Importance of Research Ethics Committees in Family Medicine]. *Atención Primaria*, 51(5), 263–265. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2019.04.001>

- Resneck, J. S. (2025). Revisions to the Declaration of Helsinki on its 60th anniversary: A modernized set of ethical principles to promote and ensure respect for participants in a rapidly innovating medical research ecosystem. *JAMA*, 333(1), 15–17. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.21902>
- Sontakke, Y. A., y Bhanarkar, U. P. (2022). Steps in writing a research protocol for thesis. *Cosmoderma*, 2(20), 1–5. https://doi.org/10.25259/csdm_12_2022
- Sukhera, J. (2022). Narrative reviews: Flexible, rigorous, and practical. *Journal of Graduate Medical Education*, 14(4), 414–417. <https://doi.org/10.4300/jgme-d-22-00480.1>
- Varkey, B. (2021). Principles of clinical ethics and their application to practice. *Medical Principles and Practice*, 30(1), 17–28. <https://doi.org/10.1159/000509119>
- Vidal, E. A. (2022). Aplicación del principio bioético de justicia en investigación: Aportes desde el principio de solidaridad y el concepto de responsabilidad social. *Vida y Ética*, 23(2). <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/16456>
- Zhou, J., Qin, Q., Chen, S., y Zhang, H. (2024). Moral dilemmas regarding physical restraints in intensive care units. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 17, 1619–1627. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S455910>

Tabla 1
Principios éticos y los artículos que los refieren

Principio	Definición	Artículos donde se refieran estos principios	
		Declaración de Helsinki	Ley General de Salud
<i>Justicia</i>	Garantiza la selección equitativa de participantes, sin discriminación, y distribución justa de riesgos y beneficios.	Enunciado No. 8. Enunciado No. 13. Enunciado No. 20-21	Artículo No. 2-4. Artículo No. 100-102. Artículo No. 317
<i>Beneficencia</i>	Se debe priorizar el beneficio y bienestar de los participantes, asegurando calidad y acceso a servicios que mejoren su vida.	Enunciado No. 3-7 Enunciado No. 14-20. Enunciado No. 34.	Artículo No. 2-6. Artículo No. 23. Artículo No. 112-113. Artículo No. 117. Artículo No. 166-168
<i>No maleficencia</i>	Establece el deber de no causar daño, lesión o hacer algo que reduzca la fuerza vital de los miembros individuales de una población.	Enunciado No. 10. Enunciado No. 16-18. Enunciado No. 21.	Artículo No. 100-103. Artículo No. 346.
<i>Autonomía</i>	Una persona opta por las propias elecciones personales su participación, libre y voluntaria, en una investigación.	Enunciado No. 8. Enunciado No. 20-28.	Artículo No. 51. Artículo No. 74-75. Artículo No. 100-104. Artículo No. 166.

Nota: tabla elaborada por autores del manuscrito.

Tabla 2

Elementos del proyecto de investigación que deben de estar presentes en el Consentimiento Informado

1. Título completo del protocolo, así como su justificación y objetivos generales al igual que los específicos.	2. Explicación de los procedimientos que se realizarán durante la investigación, incluyendo su propósito.
3. Descripción de las molestias o riesgos esperados, así como los beneficios de la participación en el estudio.	4. Garantía de recibir respuesta a cualquier duda o aclaración del estudio, así como de los riesgos y beneficios.
5. En caso de que se requiriese, discusión de otras alternativas terapéuticas disponibles.	6. Libertad de retirar el consentimiento en cualquier momento, sin que ello genere prejuicios.
7. La seguridad de la <i>confidencialidad</i> del/la participante, así como de que haya información que lo/la identifique.	8. Medicación de rescate en caso de que se requiriese y compensaciones económicas.
9. Datos de contacto del(la) investigador(a) principal, así como de personal asociado, para responder dudas.	10. Solicitud de firma y nombre completo de la/el participante, así como nombre y firma de dos testigos.

Nota: tabla elaborada por autores del manuscrito.

IMAGEN URBANA. UN ESTUDIO DE CASO EN CHIHUAHUA, CHIH.

ARQ. LUIS M. RIVERO ESTRADA

arq.luries@gmail.com / Luis.rivero@dulsa.com

Resumen

Un problema que se presenta en algunos puntos del centro de la Ciudad de Chihuahua es el de su Imagen Urbana, aunque cabe mencionar que, la fecha, se han realizado modificaciones y/o intervenciones urbanas de gran relevancia y con un buen impacto urbano, ejemplos como la Plaza de Armas, Av. Venustiano Carranza, calle Libertad, la Calle Victoria, entre otros; en contra punto se han dejado en el olvido ciertos puntos, como lo es nuestro estudio de caso. Entendiéndose como IMAGEN URBANA, la conjugación de los elementos naturales y construidos que forman parte del marco visual de los habitantes de una ciudad. Nuestro estudio de caso ‘‘CALLE JULIÁN CARILLO’’, no cuenta con vegetación relevante, que mejore nuestro campo visual, ni amortigüe las temperaturas de esta zona. El espacio público cumple con una multifuncionalidad, un ejemplo de ello son las banquetas que además de andadores comerciales, funcionan como paradas de camión, aparadores de mercancía, etc., en un espacio reducido. En el aspecto arquitectónico no existe nada de relevancia, y pues las fachadas que existen no ofrecen ningún atractivo, ni hacen relevancia la Ciudad, ni a su cercanía con el centro histórico. La distribución espacial hace la combinación de un todo, en un pequeño espacio, sumando con una mala distribución, dando como resultado: ‘‘Contaminación Visual’’. Se debe crear un esquema urbano para dar una imagen y un mejor funcionamiento de esta zona.

Palabras Clave: Imagen Urbana, espacios públicos, contaminación visual.

Abstract

A problem that arises in the center of the City of Chihuahua is that of its Urban Image, although it is worth mentioning that, to date, modifications and/or urban interventions of great relevance and with a good urban impact have been carried out, examples such as the Plaza de Armas, Av. Venustiano Carranza, Libertad Street, Victoria Street, among others; On the other hand, certain points have been left in oblivion, such as our case study.

Understanding as URBAN IMAGE, the conjugation of natural and built elements that are part of the visual framework of the inhabitants of a city. Our case study (CALLE JULIÁN CARILLO), does not have relevant vegetation, which improves our visual field, nor dampens the temperatures of this area. Public space complies with a multifunctionality, an example of this are the sidewalks that in addition to commercial walkways, function as truck stops, merchandise sideboards, etc., in a reduced space. In the architectural aspect

Keywords: urban image, public spaces, visual pollution

INTRODUCCIÓN

El tema que se seleccionó para realizar el siguiente artículo es sobre la Calle Julián Carrillo, ubicada en la zona centro de la Ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México, la cual es una zona muy importante en lo que refiere a movilidad urbana, esta área presenta un gran deterioro urbano, temas como: escases de elementos naturales, una mala calidad y diseño de sus espacios públicos, una arquitectura que no refleja identidad chihuahuense.

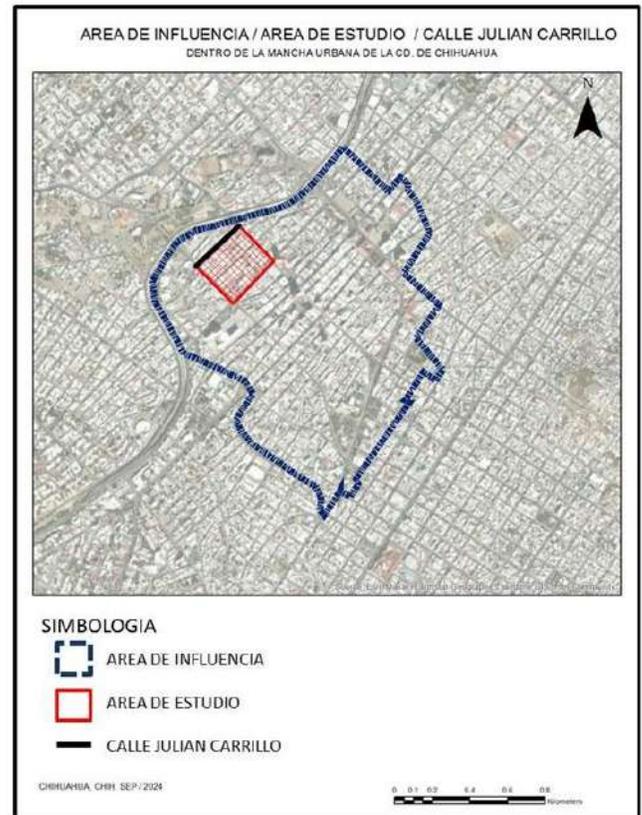
(Imagen 1. Imagen de la Calle Julián Carrillo).



Para el área de influencia, se toma el límite del área de Estudio del Plan Maestro del Centro 2013, el

cual tiene un área de 171.71 Has.(*PMCU-2013-Documento*, s. f.)

(Imagen 2. Cartografía: Área de Influencia / área de estudio / Calle Julián Carrillo).

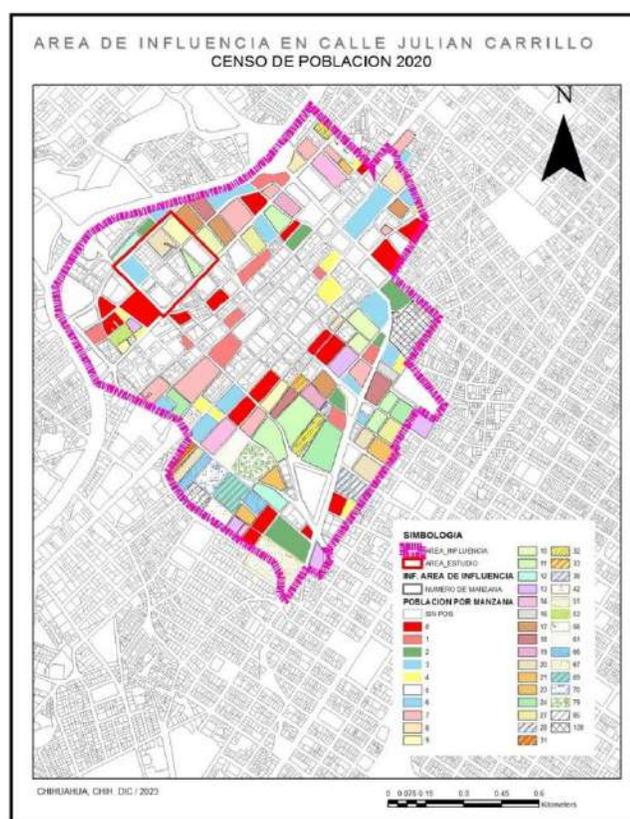


La ubicación geográfica es a partir dos puntos, sus coordenadas geográficas: el primer punto (Av. Independencia cruce con Calle Julián Carrillo): $28^{\circ}38'21.44''N$, $106^{\circ}4'45.90''O$. Segundo punto (Calle Julián Carrillo cruce con Av. Ocampo): $28^{\circ}38'14.6754''N$, $106^{\circ}4'53.7456''O$.

Se obtuvo un área de estudio con un análisis del Sistema de Información Geográfica Municipal (SIGMUN), en él se contabilizaron treinta predios circundantes a la calle analizada, obteniendo un

Según los datos que refleja el CENSO DE POBLACION DEL 2020, en el área de estudio se encuentran un total de 2,084 personas, de las cuales 846 son del sexo masculino y 1,012 del sexo femenino, existe una población de 45 personas con algún tipo de discapacidad. Un total de 1,088 viviendas, de las cuales 118 están deshabitadas.

(Imagen 5. Cartografía: Censo de Población)



Unidades Económicas

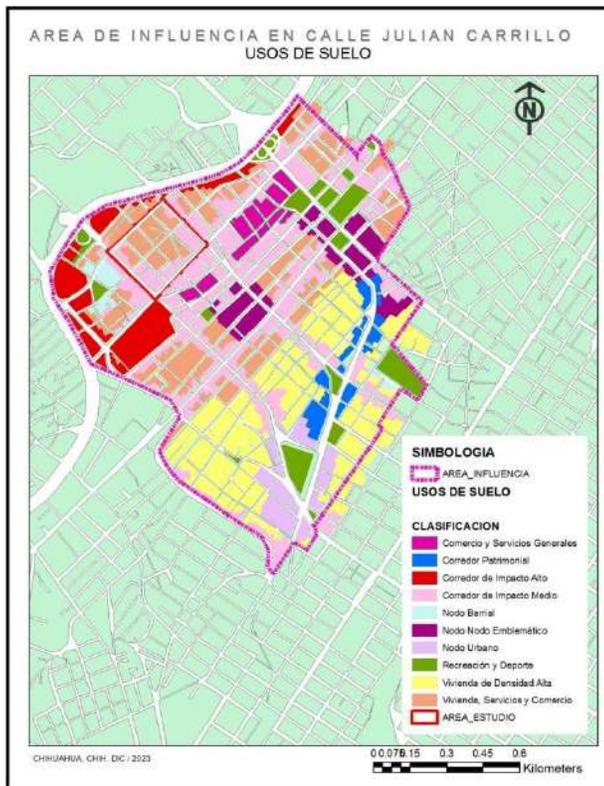
Según el DENUE (DIRECTORIO ESTADÍSTICO NACIONAL DE UNIDADES ECONOMICAS), existen en la zona de estudio un total de 232 unidades económicas, con diversos giros

comerciales, pero sobre la calle Julián Carrillo se mostraron 30 unidades.

Usos de suelo

Los usos de Suelo de la Zonificación Secundaria del Plan de Desarrollo urbano 2040 del centro de población Chihuahua, publicado en el anexo al periódico oficial no. 99 con fecha 12 DE DICIEMBRE DEL 2009 (*PDU2040-2013_CuartaActualizacion*, s. f.), la zona de estudio, son cinco: Corredor de impacto alto (ubicado por el Hotel Apolo cercas de la Av. Teófilo Borunda), Vivienda, servicios y comercio (ubicado en la mayor parte de la zona de estudio), Nodo Barrial (ubicado en el Barrio de San Pedro), Recreación y deporte (anexa a esta zona se encuentra una zona de tolerancia), y por último Corredor de Impacto Medio.

(Imagen 6. Cartografía: Usos de Suelo)



Marco Metodológico

El enfoque de esta investigación es mixto, es decir, un tanto cualitativa como cuantitativa, tomando lo mejor de cada una de ellas, para lograr así una mejor visión del problema o problemas de la zona de estudio, el objetivo es determinar como el urbanismo puede ayudar a esta zona, con el fin de que los ciudadanos disfruten esta zona, que forma parte del Centro Histórico de la Ciudad.

La naturaleza de los datos de este artículo, son imágenes, croquis actuales, levantamientos físicos de la zona, estadísticas de Sistema de Infraestructura Geográfica Municipal (SIGMUN), Instituto Municipal de Planeación del Municipio de

Chihuahua (IMPLAN), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Información (INEGI), Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), así como medios digitales de la Ciudad.

Los métodos de recolección de datos han sido mediante la observación del sitio, análisis de documentos, planos y/o croquis, análisis de bases de datos, investigaciones semejantes dentro de la misma ciudad, como ejemplo de adecuación

El tipo de análisis para esta investigación es una combinación entre interpretativo por parte del autor, pero con un solo objetivo: Mejorar la imagen de esta zona, para el disfrute de esta; sin dejar a tras su funcionalidad.

MARCO REFERENCIAL

Proyecto a nivel local

Rehabilitación de la Calle Victoria

Los problemas que se observaban: el vehículo dominaba la escena, la calle era angosta y no permitía la circulación de un vehículo y estacionamiento de un lado, la rapidez con la que se transitaba no permite el disfrute de los edificios que la componen, no propiciaba el andar como práctica cotidiana en el centro histórico de la ciudad, potencial de los locales comerciales, propiciaba el cambio de uso de estacionamientos en la zona para locales que disfruten de la calle peatonal.

Lo que se pretendía: la propuesta contemplaba la peatonalización de la calle Victoria como parte del Plan Maestro del Centro, considerando dos aspectos fundamentales: la regeneración del espacio público, promoviendo los recorridos peatonales, cómodos y sombreados, nodos como tributo al viento, sustentabilidad, generación de energía eólica, aprovechando el viento para el consumo de energía del alumbrado público, árboles y plantas de bajo consumo de agua, utilización de agua reciclada para riego y uso de materiales de larga vida útil.

Lo que se logró: Una calle en el corazón del centro de la Ciudad, que promueve el caminar, bajo arboles sin vehículos, elementos que juegan con el paisaje urbano, empleo de materiales de larga vida útil y propicia la convivencia con restaurantes, que ofrecen comedores exteriores y sobre en un ambiente seguro para todos.

Proyecto a nivel nacional

Eje 3 Oriente (Cd. México)

Se optimizaron 10 km. Del sistema de transporte público, durante el periodo del 2014 – 2018, de los cuatro carriles que poseía la avenida, dos se emplearon para vehículos particulares, uno para el Metrobús y el restante para la ciclovía. Se ampliaron las banquetas, alineamiento del mobiliario urbano, se integró vegetación, cambio en ciclos del semáforo y señalética. Esta avenida se

considera una de las primeras calles completas del País.

Proyecto a nivel internacional

High Line en Nueva York.

Este es un parque lineal de aproximadamente 2.33 km de largo, en el distrito de Manhattan en Nueva York, se adaptó una sección elevada de la línea West Side line de una compañía de ferrocarriles New York Central Railroad, este proyecto se convirtió en una vereda verde elevada sobre los rieles de una antigua ferroviaria.

(Imagen 7. Vista de la High Line, N.Y. E.U.)



RESULTADOS

La pregunta clave de este artículo es:

¿Qué enfoque de investigación debe ser correcto para dar solución a los problemas urbanos que han sido mencionado anteriormente?

Los espacios públicos son el reflejo de la salud de la ciudad y del respeto que los gobernantes tienen a los habitantes. Las calles, banquetas, plazas y

parques son la casa compartida y el punto de encuentro para tejer las relaciones en la comunidad. La dignidad de la ciudad se expresa en ellos. La Ciudad Digna es amable, caminable y disfrutable.

Para la justificación se analizan los siguientes puntos:

- Conexiones de conectividad
- Paraderos formales de la zona
- Movilidad urbana e impacto vial

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El enfoque urbano para dar solución es el de **CALLE PARA TODOS**, un concepto que promueve la inclusividad en espacios públicos, sin importar género, edad, posición económica, medio de transporte, ya que todos tenemos el mismo derecho al disfrute de nuestras calles. (*Dialnet-LaCalleComoEspacioUrbano-615568*, s. f.)

(Imagen 8. Imagen de Ejemplo de Calle para todos)



Los principios de la teoría Calle para todos son cinco, los cuales son accesibilidad universal,

seguridad vial, movilidad sostenible, espacios públicos de calidad e igualdad urbana.

Se deben diseñar / acondicionar / estructurar las calles para peatones, comerciantes, personas que esperan el camión (familias, personas de la tercera edad), personas con capacidades diferentes, para el transporte urbano, transporte privado, para todos.

El gobierno municipal debe suministrar la infraestructura necesaria para dar seguridad, tanto a los diferentes usuarios de las calles como conductores, es decir, a través de señalización, pases peatonales, estableciendo límites de velocidad, semaforización,

El uso de transporte público eficiente y de bajo impacto al medio ambiente, así como fomentar el uso de transportes no contaminantes como bicicleta, motos, son clave para mejorar la calidad de calle para todos.

Espacios públicos para poder garantizar una convivencia de calidad, como son áreas verdes (acordes al clima de la ciudad), mobiliario urbano de materiales no impliquen un mantenimiento constante, iluminación, hidratantes necesarios, elementos de proyección de sombra, paradas de camión acordes al clima de la ciudad.

Existen ejemplos de calles completas en Bogotá, Barcelona, o Nueva York. Donde se prioriza al peatón. También existen zonas de tráfico calmado, en Barcelona. Y existen programas de

peatonalización temporal, como los domingos sin carros en algunas ciudades. Y existen vialidades donde se restringió el acceso de vehículos particulares.

Con el enfoque urbano de este artículo, se apoyará de dos conceptos muy importantes hoy en día:

1. Elementos del paisaje urbano que fomentan la caminata
2. La ciudad de los 15 minutos

Elementos del paisaje urbano que fomentan la caminata.

En los años noventa surgen dos conceptos: caminabilidad y entornos caminables, ambos conceptos subrayan la importancia de infraestructura física y el entorno y su relación para poder caminar. (0717-5051-ru-43-00004, s. f.)

Se han realizado investigaciones han demostrado que aspectos como la densidad poblacional, la conectividad y la mixtura de usos de suelo tienen gran influencia para motivar la caminata. De igual forma la presencia de banquetas y una topografía plana, están relacionados con la elección para caminar.

Otros aspectos que fomentan la caminata:

- La banqueta

Las banquetas angostas ocasionan inseguridad y estrés, también cuando estas cuentan con desniveles, hoyos, en mal estado y hasta basura,

causan la sensación de malestar, y en algunos peatones puede ocasionar miedo y/o ira.

- Las edificaciones

Estos elementos tienen un fuerte impacto al momento de caminar, según estudios los peatones se sienten mejor con edificaciones de altura baja (uno o dos niveles), y mediana (tres o seis niveles), contrariamente las edificaciones de más de ocho niveles generan estrés al caminar entre ellas.

- Usos de suelo

La mixtura de usos de suelos fomenta la caminata, ya que ofrece diferentes destinos, como son diferentes tipos de comercio, panaderías, farmacias, etc.

- Las áreas verdes

El árbol ayuda a regular las temperaturas, generan humedad en el ambiente, filtran el aire, el ruido, etc. Y pues generan un ambiente de bienestar

- Los cruces vehiculares

Los cruces sin semáforos y/o sin pasos peatonales pueden ocasionar estrés, inseguridad o simplemente miedo a los ciudadanos.

- El tráfico y el ruido

El ruido al caminar y la cantidad de tráfico generan mucho estrés al caminar, en cambio los espacios urbanos con poco ruido generan un placer al caminarlos.

La ciudad de los quince minutos

Es darle importancia a la accesibilidad de servicio en cortas distancias, es promover un espacio donde los ciudadanos puedan cubrir la mayor parte de sus necesidades en una corta distancia, esto trae en consecuencia una vida comunitaria integrada y sostenible. La también llamada “proximidad feliz”, busca mejorar la calidad de vida, reduciendo el uso de vehículos, y haciendo más fuerte la actividad económica y social. (07_ep_c_moreno_bcns30_esp, s. f.).

La idea de la ciudad de los 15 minutos está hecha con fundamentos urbanos sólidos y teorías de desarrollo urbano, sus cimientos son la movilidad inclusiva, equidad y sostenibilidad. Las teorías del urbanismo mencionan la importancia de escalar la ciudad al ser humano, este concepto ha evolucionado a partir de que urbanistas como Jane Jacobs promovieron las calles llenas de vida

La psicología urbana nos dice como la cercanía de los servicios puede afectar o beneficiar a la salud de los ciudadanos. El espacio urbano diseñado para poder realizar actividades al aire libre contribuye a una satisfacción personal y de placer.

La modificación de las ciudades convencionales al concepto de la “Ciudad de los 15 Minutos”, es algo que se está aplicando en todo el mundo, todo con el fin de hacer un urbanismo más humano y accesible para todos.

Las técnicas empleadas en algunas ciudades pueden ser empleadas en otras, siempre y cuando se adapten a su cultura, a su economía, a su clima; para su diseño se tienen que involucrar urbanistas, ciudadanía, las estancias de gobierno correspondiente, comerciantes, concesionarios de rutas de transporte, entre otros.

El concepto de la “Ciudad de los 15 minutos”, se ha aplicado desde las metrópolis de Asia y África, ciudades históricas de Europa, y a urbanizaciones de América, se ha aplicado como un desarrollo urbano más sostenible y tomando las necesidades del ciudadano, esto refleja una nueva tendencia de responsabilidad urbana.

Bibliografía

SIGMUN (SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPAL.

<https://geoportal.implanchihuahua.org/sigmun/apps/webappviewer/index.html?id=91d32aae9b874b139ad893832c365921>

SISTEMAS DE CONSULTA DEL INEGI

<https://www.inegi.org.mx/siscon/>

DIRECTORIO ESTADÍSTICO NACIONAL DE UNIDADES ECONOMICAS.

<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

BUSCUU. RUTAS DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CD. CHIHUAHUA

<https://buscuu.com/mapa>

07_ep_c_moreno_bcns30_esp. (s. f.).

0717-5051-ru-43-00004. (s. f.).

Dialnet-LaCalleComoEspacioUrbano-615568. (s. f.).

PDU2040-2013_CuartaActualizacion. (s. f.).

PMCU-2013-Documento. (s. f.).

