Vol. XII, N° 32 • Febrero 2023
ISSN: 2007-6703

ESPACIO I+D, INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO

Revista Digital de la
Universidad Autónoma de Chiapas
Indizada en los catálogos de Latindex, BIBLAT, CLASE, SIC, Actualidad Iberoamericana, REDIB, DOAJ, MIAR, Biblioteca COLMEX y Scilit.

ESPACIO I+D, INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO
Febrero 2024, Vol. XIII, N.º 35

Registrada en **Latindex, BIBLAT, CLASE, Actualidad Iberoamericana**, **Sistema de Información Cultural de la Secretaría de Cultura**, **REDIB, DOAJ, MIAR, Biblioteca COLMEX** y **SCILIT**.

Es una revista digital de divulgación científica y cultural de carácter multidisciplinario de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), cuenta con una periodicidad cuatrimestral y registro:

Reserva: 04-2022-070614023200-102
ISSN: 2007-6703

Director General - Oel García Estrada

Editora Responsable - Silvia E. Álvarez Arana

Editora Ejecutiva - Jenny Ivette Gómez Hernández

Diseño Web y Editorial - Joshep Fabian Coronel Gómez

Traducción General - Celina López González

Desarrollador Web y Soporte Técnico Editorial - Héctor Daniel Niño Nieto

Boulevard Belisario Domínguez, Km. 1081, Sin Número, Terán,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 29050

www.espacioimasd.unach.mx

Contacto: espacioimasd@unach.mx

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.

Comité Editorial

Alexandra Mulino • Universidad Central de Venezuela
Alfredo Briones Aranda • Universidad Autónoma de Chiapas
Ana Alejandra Robles Ruiz • CESMECA- Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Ana Almansa • Universidad de Málaga España
Carlos Alberto Noriega Guzmán • Universidad Autónoma de Baja California
Christian Maythe Santiago Bartolomé • Instituto de Elecciones y Participación Ciudadana/UNACH
Diana Leslie Mendoza Robles • Universidad Autónoma de Chiapas
Dorian Francisco Gómez Hernández • Universidad Autónoma de Chiapas
Eduardo Torres Alonso • Universidad Nacional Autónoma de México
Emilio Rodríguez Macayo • Universidad Autónoma de Chile. Sede Talca
Flora Eugenia Salas Madriz • Universidad de Costa Rica
Gabriel Castañeda Nolasco • Universidad Autónoma de Chiapas
Gerardo Núñez Medina • Colegio de la Frontera Norte
José Bastiani Gómez • Universidad Intercultural de Chiapas
José Martínez Torres • Universidad Autónoma de Chiapas
Karen Caballero Mora • Universidad Autónoma de Chiapas
Lorenzo Franco Escamirosa Montalvo • Universidad Autónoma de Chiapas
Lucía Tello Peón • Universidad Autónoma de Yucatán
María Eugenia Aguilar Álvarez • Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM)
Mayra Isabel de la Rosa Velázquez • Universidad Autónoma de Sinaloa
Miguel Abud Archila • Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. México
Natacha Coca Bernal • Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba
Sandra Aurora González Sánchez • Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Sarelly Martínez Mendoza • Universidad Autónoma de Chiapas
Sandra Isabel Ramírez González • Universidad Autónoma de Chiapas
Segundo Jordán Orantes Albores • Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Ottmar Raúl Reyes López • Academia de Química y Biología en la UPIITA del IPN
Víctor Darío Cuervo Pinto • Instituto Politécnico Nacional-UPIITA

Asesor:
Orlando López Báez • Universidad Autónoma de Chiapas

Coordinación y gestión operativa
Silvia E. Álvarez Arana • silvia.alvarez@unach.mx
Jenny Ivette Gómez Hernández • jenny.gomez@unach.mx

Instructivo de publicación:
https://www.espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/Instrucciones

ÍNDICE

Editorial 6

Artículos

Actividad gastroprotectora de *Hamelia patens* Jacq. en el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol 8

Estudio del Potencial Antimicrobiano de Extractos Orgánicos de *Verbena litoralis* 19

Análisis de los Cultivos Estratégicos Básicos de México, a través del Índice de Autosuficiencia Alimentaria, 2011-2020 33

Turismo de naturaleza y producción del espacio. Estudio de caso en una comunidad indígena de la región de los Altos de Chiapas 52

Evaluación de la relación molar poliol/diisocianato en las propiedades fisicoquímicas de biopoliuretano producido a partir de grasa avícola 77

Documentos Académicos

Iniciativas Innovadoras de Emprendimiento Impulsadas en una Universidad Pública de Ciudad Juárez 94

Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica 112

EDITORIAL

Estimadas y estimados colaboradores y lectores:

Presentamos este nuevo número con el que inauguramos el volumen 13 de la Revista *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*. Luego de 11 años tenemos mucho entusiasmo en continuar con esta labor de divulgar la ciencia y el conocimiento desde nuestra máxima casa de estudios.

Es este número 35 presentamos los siguientes materiales, que reúne artículos especializados en el tema y los pone a disposición: Actividad gastroprotectora de *Hamelia patens* Jacq. en el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol; Estudio del Potencial Antimicrobiano de Extractos Orgánicos de Verbena *litoralis*; Análisis de los Cultivos Estratégicos Básicos de México, a través del Índice de Autosuficiencia Alimentaria, 2011-2020; Turismo de naturaleza y producción del espacio. Estudio de caso en una comunidad indígena de la región de los Altos de Chiapas; Evaluación de la relación molar poliol/diisocianato en las propiedades fisicoquímicas de biopoliuretano producido a partir de grasa avícola; así como dos documentos académicos denominados: Iniciativas Innovadoras de Emprendimiento Impulsadas en una Universidad Pública de Ciudad Juárez; y Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica. Los artículos anteriores son provenientes de diversas instituciones, entre las que destacan: IPN, Politécnica de Chiapas, Tecnológico Nacional de México (Campus Tuxtla Gutiérrez y Comalcalco), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Intercultural de Chiapas y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Asimismo, presentamos la versión en inglés del número 34 de nuestro volumen anterior.

Como parte de nuestra responsabilidad como institución esperamos este año cumplir con las exigencias y retos que el mundo editorial y la divulgación de la ciencia nos plantearán, siempre con el mismo enfoque de ser un espacio abierto a la reflexión para aproximarnos a la sociedad y que México sea una nación informada.

Deseamos que nos sigan acompañando a lo largo de este fructífero 2024.

Las Editoras
Revista Espacio I+D, Innovación más Desarrollo

«Por la conciencia de la necesidad de servir»
Universidad Autónoma de Chiapas

ARTÍCULOS

Recepción: **Abril 11, 2023** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Actividad gastroprotectora de *Hamelia patens* Jacq. en el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol

Gastroprotective activity of *Hamelia patens* Jacq. in the model of ethanol-induced gastric lesions

—

María Elena Sánchez Mendoza[1] • mesmendoza@hotmail.com
ORCID: 0000-0003-4689-6757

Yaraset López Lorenzo[2] • yarlop_2310@outlook.com
ORCID: 0000-0002-3886-2955

Jazmín García Machorro[3] • jgarciama@ipn.mx
ORCID:0000-0002-3630-5979

Jesús Arrieta Valencia[3] • jearrval@yahoo.com.mx
ORCID: 0000-0003-2928-744X

1 Escuela Superior De Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

2 Ingeniería En Tecnología Ambiental, Universidad Politécnica De Chiapas, Suchiapa, Chiapas, México

3 Escuela Superior De Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

Para citar este artículo:
Sánchez Mendoza, M. E., López Lorenzo, Y., García Machorro, J., & Arrieta Valencia, J. Actividad gastroprotectora de Hamelia patens Jacq. en el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a01

RESUMEN

La úlcera péptica es una enfermedad que afecta aproximadamente al 10% de la población a nivel mundial y en algunos pacientes se puede complicar con peritonitis que puede provocar incluso la muerte. Para su tratamiento existen diversos fármacos. Sin embargo, todos ellos tienen efectos adversos, por lo que es necesario buscar otras alternativas terapéuticas. El estudio de las plantas medicinales es importante ya que se consideran una fuente importante para la obtención de nuevos fármacos. En México, la *Hamelia patens* es utilizada de manera empírica para tratar la úlcera gástrica, pero carece de un sustento científico. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar el posible efecto gastroprotector de *Hamelia patens* usando el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol en ratas Wistar. A partir de las hojas de *Hamelia patens* se prepararon los extractos de hexano, diclorometano y metanol vía maceración. Los extractos se administraron vía oral a las dosis de 10, 30 y 100 mg/kg, y carbenoxolona (fármaco de referencia) a las dosis de 3-100 mg/kg. El extracto más activo se separó por cromatografía en columna y se obtuvieron 4 fracciones, que fueron evaluadas a la dosis de 100 mg/kg. Los resultados demostraron que los extractos de diclorometano y metanol fueron activos en las tres dosis evaluadas, respecto al extracto hexánico solo presentó actividad a la dosis más alta (100 mg/kg). A la dosis de 10 mg/kg el extracto de diclorometano fue más eficaz que la carbenoxolona a la misma dosis ($p<0.05$). Tres de las cuatro fracciones del extracto de diclorometano, resultaron con actividad gastroprotectora ($p<0.05$) con valores de índice de úlcera de 42, 37 y 55 mm^2, respectivamente. En conclusión, *Hamelia patens* demostró actividad gastroprotectora en ratas Wistar del daño gástrico causado por etanol y demostró tener más de un compuesto activo.

Palabras clave*:*

Plantas medicinales; Hamelia patens; gastroprotección; úlceras gástricas.

— Abstract—

Peptic ulcers affect about 10 % of the population worldwide and in some cases lead to the development of peritonitis, which can even death. Since the diverse drugs used for treatment of peptic ulcers all have serious adverse effects, it is necessary to seek new therapies. The scientific study of medicinal plants is important because they represent an important source for obtaining new drugs. *Hamelia patens* is utilized empirically to treat gastric ulcers in Mexico, but this practice is not based on a scientific foundation. The aim of the current contribution was to examine the possible gastroprotective effect of *Hamelia patens* with the model ethanol-induced gastric lesions in Wistar rats. The leaves of *Hamelia patens* were macerated in order to prepare the hexane, dichloromethane, and methanol extracts, which were administered orally at the doses of 10, 30 and 100 mg/kg. Carbenoxolone (the reference drug) was given to the animals at 3-100 mg/kg. The most active extract was separated by column chromatography and the four fractions obtained were evaluated on the rats at 100 mg/kg. Whereas the dichloromethane and methanol extracts were active at all three-doses tested, the hexane extract only showed gastroprotective activity at the highest dose (100 mg/kg). At 10 mg/kg the dichloromethane extract was more effective than carbenoxolone at the same dose ($p<0.05$). Three of the four fractions of dichloromethane extract displayed gastroprotective activity ($p<0.05$), with ulcer index values of 42, 37, y 55 mm^2. In conclusion, *Hamelia patens* demonstrated gastroprotective activity on Wistar rats with ethanol-induced lesions and proved to have more than one active compound.

Keywords:

Medicinal plants; Hamelia patens; gastroprotection; gastric ulcers.

La úlcera péptica es una lesión del tracto digestivo inducida por el ácido que se extiende hacia la submucosa o hasta la muscular de la mucosa y, generalmente, se puede localizar en la parte inferior del esófago o del estómago y en la parte superior del duodeno (Kuna *et al*., 2019; Dunlap y Patterson, 2019). Se estima que se presenta de un 5 al 10% en la población en general (Kuna *et al*., 2019) y puede desencadenar complicaciones graves como sangrado o perforación, con un alto riesgo de mortalidad debido a la peritonitis (Sverdén *et al*., 2019). La úlcera péptica se origina por un desequilibrio entre los mecanismos que contribuyen a la integridad de la mucosa (prostaglandinas, óxido nítrico, grupos sulfhidrilo, capa de moco bicarbonato y disminución de la motilidad gástrica) y los factores agresivos (Kuna *et al*., 2019; Dunlap y Patterson, 2019). Dentro de los factores de riesgo para esta enfermedad se encuentran la infección por *H. pylori*, el uso prolongado de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y otros medicamentos (corticosteroides, cloruro de potasio, agentes quimioterapéuticos) ya que modifican algunos factores protectores de la mucosa gástrica, el consumo de tabaco y de alcohol, el estrés después de una lesión o enfermedad física intensa, radioterapia, virus y alteraciones metabólicas. (Dunlap y Patterson, 2019; Kuna *et al*., 2019). Los protocolos de diagnóstico y tratamiento no han cambiado en los últimos 20 años (Brătucu *et al*., 2021). Los fármacos inhibidores de la bomba de protones (Perry *et al*., 2020) son los más prometedores para el tratamiento de la úlcera gástrica. Sin embargo, su uso prolongado desencadena efectos adversos como hipoclorhidria gástrica e hipergastrinemia, alteraciones en la absorción de calcio, hierro, magnesio y vitamina B_{12}, y/o cáncer gástrico o pancreático (Kavitt *et al*., 2019; Peng *et al*., 2018), por lo que es necesario buscar otras alternativas terapéuticas. Las plantas medicinales se consideran el principal reservorio de fármacos potenciales (Kuna *et al*., 2019) y se ha demostrado que el estudio basado en la información etnobotánica ha producido muchos fármacos útiles. No obstante, las investigaciones que validan el uso empírico de las plantas medicinales aún son escasas (Jiménez-Suárez *et al*., 2016). La planta *Hamelia patens* Jacq. (Rubiaceae), comúnmente conocida con los nombres de trompeta, coralillo o hierba coralina, que se usa tradicionalmente en el estado de Chiapas para tratar la úlcera péptica, no se dispone de investigaciones científicas al respecto, por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el efecto gastroprotector de *Hamelia patens* utilizando el modelo de lesiones gástricas inducidas por etanol en ratas Wistar.

METODOLOGÍA

Animales

Se utilizaron ratas Wistar macho de un peso entre 180-220 g adquiridos de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Xochimilco, Ciudad de México. El cuidado y manejo de los animales fue realizado conforme a los lineamientos oficiales mexicanos (Norma Oficial Mexicana [NOM-062-ZOO], 1999). El estudio fue aprobado por el Comité Interno de Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, con número de registro: ESM. CICUAL 14-03-01-2018. Los animales se colocaron en jaulas individuales provistas de un piso de malla metálica, 24 h previas a la realización de las evaluaciones fueron privadas de alimento, pero con libre acceso a agua (Sánchez-Mendoza *et al*., 2022). Todos los experimentos se llevaron a cabo con 7 animales por grupo.

Material vegetal

La planta *Hamelia patens* Jacq. (Rubiaceae) fue colectada en abril del 2021, en el municipio de Copainalá, en el estado de Chiapas, México. La planta fue identificada por el biólogo Manuel de Jesús Gutiérrez Morales, del Departamento de Flora del Herbario CHIP, y se le asignó el número de registro: 27762.

Extracción y fraccionamiento

Las hojas de *Hamelia patens* fueron secadas a temperatura ambiente bajo la sombra y después molidas con la ayuda de un molino mecánico. Cinco kilos de hojas secas y molidas fueron extraídos vía maceración, para esto las hojas se pusieron, primeramente, en contacto con hexano por espacio de tres días. Pasado este tiempo el disolvente fue filtrado y concentrado con la ayuda de un rota-evaporador, esta operación se repitió dos veces más para obtener de esta forma el extracto hexánico. Posteriormente, el residuo vegetal fue extraído con diclorometano y metanol, respectivamente, siguiendo la metodología antes descrita para así obtener el extracto de diclorometano y de metanol (López-Lorenzo *et al*., 2022). Los extractos se evaluaron en el modelo de lesiones gástricas inducidas con etanol en ratas Wistar. El extracto más activo, el diclorometano, se separó por cromatografía en columna de sílica gel con cambios grandes de polaridad, dando cuatro fracciones. Como sistema de elución se utilizó: F1 = hexano/acetato de etilo 9:1, F2 = hexano/acetato de etilo 8:2, F3 = hexano/acetato de etilo 5:5 y F4 = acetato de etilo 100 %.

Lesiones gástricas inducidas por etanol

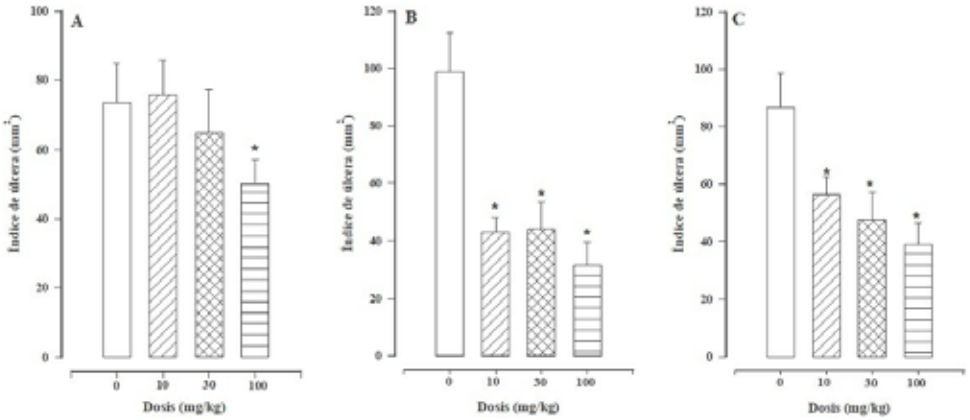
Los extractos (10, 30 y 100 mg/kg), las fracciones (100 mg/kg), la carbenoxolona (3-100 mg/kg) y el vehículo (Tween 80 al 0.05 %) se administraron a ratas Wistar por vía oral (0.5 mL/100 g) a los diferentes grupos de animales. Treinta minutos después se administró un 1 mL etanol por vía oral (de forma independiente del peso) a todos los animales para provocar lesiones gástricas. Después de 2 h los animales fueron sacrificados en una cámara de CO_2. De forma inmediata se realizó la disección de los estómagos y, posteriormente, se llenaron con formaldehido (2%), cinco minutos después se abrieron por la curvatura mayor para de esta forma poder medir el área de las lesiones gástricas con la ayuda de un microscopio estereoscópico provisto de un micrómetro ocular. El índice de úlcera se calculó como la suma de todas las lesiones en mm^2 de cada estómago (Sánchez-Mendoza *et al*., 2022).

Análisis estadístico

Los datos se expresan como la media ± EEM (Error estándar de la media; n = 7). Las diferencias entre los grupos de tratamiento fueron analizadas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis seguida por la prueba de Dunn. Para comparar dos grupos se empleó la prueba U de Mann Whitney. Se consideró una diferencia significativa con un valor de $p< 0.05$.

RESULTADOS

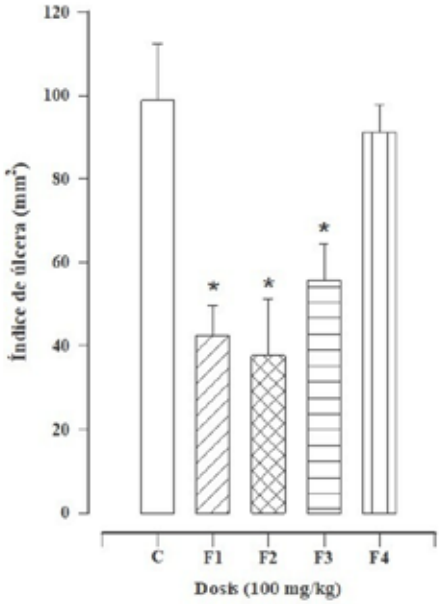
Los extractos de hexano, diclorometano y metanol de *Hamelia patens* indujeron un efecto gastroprotector contra las lesiones provocadas con etanol a la dosis de 100 mg/kg (Figura 1 [A]). No obstante, el extracto hexánico fue inactivo a dosis menores (10 y 30 mg/kg), ya que no existe diferencia significativa al comparar con el grupo control de vehículo. En cambio, los extractos de diclorometano y metanol fueron activos a esas dosis (10 y 30 mg/kg). Cabe resaltar que el efecto de estos dos extractos activos no es dependiente de la dosis (Figura 1 [B y C]). En el estudio biodirigido se decidió realizar el fraccionamiento del extracto de diclorometano, ya que al compararlo con el extracto metanólico a la dosis de 10 mg/kg se encontró una diferencia significativa entre ambos.



Nota. Cada barra representa el promedio ± E.E.M. (n = 7) *p < 0.05 comparado con su respectivo control. Prueba de Kruskal-Wallis seguido de la prueba de múltiples comparaciones de Dunn.

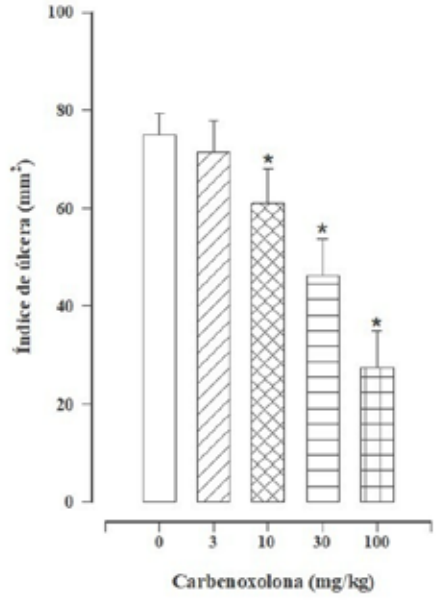
Figura 1. (A, B y C). Efecto gastroprotector del extracto hexánico (A), diclorometano (B) y metanol (C) sobre las lesiones gástricas inducidas por etanol en ratas Wistar

En la evaluación de las fracciones obtenidas del extracto de diclorometano (Figura 2, 100 mg/kg) se encontró que tres de ellas, F1, F2 y F3, fueron activas; y solo la F4 fue inactiva. Al hacer una cromatografía en capa fina de las fracciones activas se observaron algunos Rf similares (0.6) entre ellas. Respecto a la carbenoxolona, esta protegió del daño gástrico a partir de la dosis de 10 mg/kg y presentó un efecto dependiente de la dosis (Figura 3). Al comparar el índice de úlcera del fármaco de referencia con el obtenido por las fracciones F1 y F2, no se encontró diferencia estadística, lo que indica que ejercen la misma protección a la dosis de 100 mg/kg.



Nota. C=control, F1=hexano/acetato de etilo 9:1, F2=hexano/acetato de etilo 8:2, F3= hexano/acetato de etilo 5:5 y F4=acetato de etilo 100 %. Cada barra representa el promedio ± E.E.M. (n = 7) *p < 0.05 comparado con su respectivo control. Prueba de Kruskal-Wallis seguido de la prueba de múltiples comparaciones de Dunn.

Figura 2. Efecto gastroprotector del fraccionamiento del extracto de diclorometano, sobre las lesiones gástricas inducidas por etanol en ratas Wistar



Nota. Cada barra representa el promedio ± E.E.M. (n = 7) *p < 0.05 comparado con su respectivo control. Prueba de Kruskal-Wallis seguido de la prueba de múltiples comparaciones de Dunn.

Figura 3. Efecto gastroprotector de carbenoxolona sobre las lesiones gástricas inducidas por etanol en ratas Wistar

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos mostraron que la planta *Hamelia patens* ejerce actividad gastroprotectora, lo que sustenta su uso terapéutico para tratar úlcera gástrica en la medicina tradicional de nuestro país. Adicionalmente, cabe mencionar que en estudios previos a *Hamelia patens* se le ha demostrado actividad antinociceptiva y antiinflamatoria (Noor *et al*., 2020). Esta combinación de actividades le daría una ventaja a *Hamelia patens*, debido a que esto ayudaría a reducir las dosis de AINEs en aquellos pacientes que los consumen de manera prolongada y así reducir el riesgo de padecer úlcera péptica provocada por este tipo de fármacos (Dunlap y Patterson, 2019). Por otro lado, a lo largo del estudio biodirigido quedó en evidencia que la planta contiene más de un compuesto activo con diferentes propiedades fisicoquímicas, ya que se encontró actividad en los tres extractos evaluados (hexano, diclorometano y metanol). Aunque el extracto hexánico solo ejerció actividad a la dosis de 100 mg/kg, lo cual puede ser por dos razones: que dicho extracto tenga muy poca cantidad del o de los constituyentes activos, o que dichos compuestos sean poco activos. En cambio, el efecto gastroprotector alcanzado con la dosis de 10 mg/kg del extracto de diclorometano difiere significativamente respecto al extracto metanólico a la misma dosis, lo que indica que, en el extracto de diclorometano, el o los compuestos responsables de dicha actividad son más potentes o están en mayor cantidad. Adicionalmente, del fraccionamiento del extracto de diclorometano tres fracciones resultaron activas y sus cromatografías en capa fina mostraron compuestos con Rf similares, lo cual sugiere que las facciones 1, 2 y 3 probablemente contengan el mismo compuesto, además de otros. Los estudios fitoquímicos de la planta *Hamelia patens* han reportado que contiene un glucósido de flavanona, ácido rosmarínico y varios alcaloides como pteropodina, isopteropodina, rumberina, palmirina, maruquina, alcaloide A, tetrahidroalstonina, aricina, hamelina, uncarina, especiofilina y efedrina (Jiménez-Suárez *et al*., 2016). Considerando que se ha reportado actividad gastroprotectora para algunos tipos de flavonoides y alcaloides, queda pendiente continuar el estudio de esta planta para poder identificar los constituyentes gastroprotectores activos y determinar su mecanismo de acción. Es interesante observar que el efecto protector de las fracciones activas F1 y F2 fue similar al fármaco de referencia carbenoxolona a la misma dosis, lo que sugiere que con la purificación de estas fracciones probablemente se obtengan compuestos más activos que carbenoxolona.

CONCLUSIÓN

La planta *Hamelia patens* protege a las ratas Wistar del daño gástrico causado por etanol y contiene más de un compuesto activo.

REFERENCIAS

Brătucu, M., Prunoiu, V., Strâmbu, V., Brătucu, E., Răvaş, M., Simion, L., y Petre, R. (2021). Unusual Complicated Gastric Ulcers. *Medicina (Kaunas, Lithuania), 57*(12), 1345. https://doi.org/10.3390/medicina57121345

Dunlap, J., y Patterson, S. (2019). Peptic ulcer disease. *Gastroenterology nursing: the official journal of the Society of Gastroenterology Nurses and Associates, 42*(5), 451–454. https://doi.org/10.1097/SGA.0000000000000478

Jiménez-Suárez, V., Nieto-Camacho, A., Jiménez-Estrada, M., y Alvarado-Sánchez, B. (2016). Anti-inflammatory, free radical scavenging and alpha-glucosidase inhibitory activities of Hamelia patens and its chemical constituents. *Pharmaceutical biology, 54*(9), 1822–1830. https://doi.org/10.3109/13880209.2015.1129544

Kavitt, R. T., Lipowska, A. M., Anyane-Yeboa, A., y Gralnek, I. M. (2019). Diagnosis and Treatment of Peptic Ulcer Disease. *The American journal of medicine, 132*(4), 447–456. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2018.12.009

Kuna, L., Jakab, J., Smolic, R., Raguz-Lucic, N., Vcev, A., y Smolic, M. (2019). Peptic Ulcer Disease: A Brief Review of Conventional Therapy and Herbal Treatment Options. *Journal of clinical medicine, 8*(2), 179. https://doi.org/10.3390/jcm8020179

López-Lorenzo, Y., Sánchez-Mendoza, M. E., Arrieta-Baez, D., Perez-Ruiz, A. G., y Arrieta, J. (2022). Gastroprotective activity of (E)-ethyl-12-cyclohexyl-4,5-dihydroxydodec-2-enoate, a compound isolated from *Heliotropium indicum*: role of nitric oxide, prostaglandins, and sulfhydryls in its mechanism of action. *Pharmaceutical biology, 60*(1), 1207–1213. https://doi.org/10.1080/13880209.2022.2087690

Noor, G., Ahmad, M. A., Ahsan, F., Mahmood, T., Arif, M., y Khushtar, M. (2020). A Phytochemical and Ethnopharmacological Recapitulation on Hamelia patens. *Drug research, 70*(5), 188–198. https://doi.org/10.1055/a-1131-7856

Norma Oficial Mexicana. (1999). *Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. (NOM-062-ZOO-1999]). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=762506&fecha=22/08/2001#gsc.tab=0

Peng, Y. C., Lin, C. L., Hsu, W. Y., Lu, I. T., Yeh, H. Z., Chang, C. S., y Kao, C. H. (2018). Proton Pump Inhibitor Use is Associated With Risk of Pancreatic Cancer: A Nested Case-Control Study. *Dose-response: a publication of International Hormesis Society, 16*(4), 1559325818803283. https://doi.org/10.1177/1559325818803283

Perry, I. E., Sonu, I., Scarpignato, C., Akiyama, J., Hongo, M., y Vega, K. J. (2020). Potential proton pump inhibitor-related adverse effects. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1481*(1), 43–58. https://doi.org/10.1111/nyas.14428

Sánchez-Mendoza, M. E., López-Lorenzo, Y., Cruz-Antonio, L., Arrieta-Baez, D., Pérez-González, M. C., & Arrieta, J. (2022). First Evidence of Gastroprotection by *Schinus molle*: Roles of Nitric Oxide, Prostaglandins, and Sulfhydryls Groups in Its Mechanism of Action. *Molecules (Basel, Switzerland), 27*(21), 7321. https://doi.org/10.3390/molecules27217321

Sverdén, E., Agréus, L., Dunn, J. M., y Lagergren, J. (2019). Peptic ulcer disease. *BMJ (Clinical research ed.)*, 367, l5495. https://doi.org/10.1136/bmj.l5495

Recepción: **Abril 11, 2023** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Estudio del Potencial Antimicrobiano de Extractos Orgánicos de *Verbena litoralis*

Study of Antimicrobial Potential Of *Verbena litoralis* Organic Extracts

—

Rosa Isela Cruz-Rodríguez[1]
rosa.cr@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0000-0002-4743-9112

Alisa Patricia Maldonado-Fernández[2]
apmfdez@gmail.com • ORCID: 0009-0005-7591-3204

Román Castillo-Valencia[2]
romancastillo2411@gmail.com • ORCID: 0009-0006-4809-508X

María Catalina Salgado-Gutiérrez[1]
maria.sg@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0009-0004-1974-2474

Maritza del Carmen Hernández-Cruz[2]
maritza.hernandez@unach.mx • ORCID: 0000-0002-1165-2026

1 Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

2 Escuela de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas México.

Para citar este artículo:
Cruz Rodríguez, R. I., Maldonado Fernández, A. P., Castillo Valencia, R., & Salgado Gutiérrez, M. C. Estudio del Potencial Antimicrobiano de Extractos Orgánicos de Verbena litoralis. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a02

RESUMEN

Verbena litolaris (*V. litoraris*) es una planta usada en la medicina tradicional de México por la población pluricultural y ha mostrado ser efectiva para aliviar síntomas del resfriado, dolor de estómago, fiebre, diarrea, entre otros. Los reportes científicos de su potencial farmacológico son limitados, por lo que en este estudio se determinó el potencial antimicrobiano de extractos de *V. litoraris* sobre cepas patógenas responsables de infecciones gastrointestinales. La preparación de los extractos crudos orgánicos fue por sonicación y el efecto de inhibición del crecimiento bacteriano se realizó mediante el método de difusión en discos y la concentración mínima inhibitoria de los extractos se obtuvo a través de microdilución en placa. También se hizo el análisis fitoquímico mediante Cromatografía en Capa Fina (CCF) y espectrofotometría de luz visible. El extracto metanólico de hoja y los extractos etanólico y cetónico de tallo de *V. litolaris* evidenciaron un efecto positivo de inhibición del crecimiento en todas las cepas evaluadas. *E. coli* fue la cepa con mayor sensibilidad a los componentes del extracto etanólico de tallo con una concentración mínima inhibitoria (CMI) de 5 mg/mL. El extracto metanólico de hoja de *V. litolaris* presentó la mayor concentración de fenilpropanoides con 11.75 + 0.03 µg Eq rutina/mL. Este es el primer reporte de la presencia de cumarinas, antronas y antraquinonas en *V. litoralis* y con nuestros resultados se contribuye para validar su uso como una alternativa para inhibir el crecimiento de las cepas evaluadas.

Palabras clave:

Antibacteriano; Verbena litolaris; fitoquímicos; infecciones gastrointestinales.

— Abstract—

Verbena litolaris is a plant used in traditional medicine in Mexico by the multicultural population and has shown to be effective in relieving cold symptoms, stomach ache, fever, diarrhea, among others; Scientific reports of its pharmacological potential are limited, so in this study the antimicrobial potential of extracts from *V. litoraris* on pathogenic strains responsible for gastrointestinal infections was determined. The crude organic extracts were prepared by sonication and the bacterial growth inhibition effect was performed using the disk diffusion method and the minimum inhibitory concentrations of the extracts was obtained through plate microdilution. Phytochemical analysis was also done by Thin Layer Chromatography (TLC) and visible light spectrophotometry. The methanolic leaf extract and the ethanolic and ketonic extracts of stem from *V. litolaris* showed a positive effect of inhibition of growth in all the strains evaluated, *E. coli* was the strain with the highest sensitivity to the components of the ethanolic stem extract with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 5 mg/mL. The methanolic extract leaf from *V. litolaris* presented the highest concentration of phenylpropanoids with 11.75 + 0.03 µg Eq rutin/mL. This is the first report of the presence of coumarins, anthrones and anthraquinones in *V. litoralis* and with our results we contribute to validating their use as an alternative to inhibit the growth of the evaluated strains.

Keywords:

Antibacterial, Verbena litolaris, phytochemicals, gastrointestinal infections.

Los padecimientos gastrointestinales son de las primeras razones de consulta médica y la baja atención de los mismos ha resultado que actualmente se le considere una de las primeras causas de muerte no solo en México, sino también a nivel mundial. Los cuadros gastrointestinales por infecciones agudas son de los más frecuentes y pueden presentarse en cualquier época del año, pero el riesgo de sufrir estas enfermedades se incrementa en la temporada de calor (Hernández Cortez *et al*., 2011).

Por lo que se refiere al seguimiento de infecciones ocasionadas por bacterias, el sector salud mundial se enfrenta a un aumento en el número de casos que requieren tratamiento y vigilancia médica, a fin de evitar complicaciones y reducir el uso de antibióticos que a la larga van perdiendo eficacia (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020). De las enterobacterias monitoreadas por la OMS, las que han mostrado mayor grado de resistencia a diversas generaciones de antibióticos, en los últimos años, son *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae* y *Salmonella* spp. Dentro de la lista de prioridad crítica se encuentran *Pseudomonas aeruginosa* y Enterobacterales resistentes a carbapenémicos; en la lista de elevada y media se encuentran *Salmonella* spp y *Shigella* spp, resistentes a fluoroquinolonas, respectivamente (OMS, 2021).

Los conocimientos tradicionales y las prácticas curativas desarrolladas por las comunidades rurales de todo el mundo representan una alternativa importante en el cuidado de la salud, a la par de su importancia, en algunos casos, de la medicina occidental. El aprovechamiento de las plantas medicinales y aromáticas son de vital importancia para la preservación de la salud de las personas en todo el mundo, especialmente en países en desarrollo. La medicina tradicional mexicana data de tiempos prehispánicos en atención primaria de la salud (Campos *et al*., 2018). El proceso de elaboración de los medicamentos a base de plantas producen diversas respuestas en el metabolismo de quien las consume, debido a que contienen múltiples moléculas que actúan como principios activos; por ello, deben cumplir con especificaciones farmacopeicas y de control de calidad (Gallegos-Zurita, 2016).

La planta *Verbena litoralis* (Schoch CL *et al*., 2020) es originaria de México, se distribuye en varios estados tales como Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Tamaulipas, Durango, San Luís Potosí, Nuevo León, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Ciudad de México, Michoacán, Morelos, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Chiapas (Rzedowski & Rzedowski, 2002, como se citó en CONABIO, 2010), donde también es conocida como verbena fina o yakan k'ulub wamal (tzotzil), yaxal nich jomol (tzeltal) (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009).

La *V. litoralis* se emplea para curar el dolor de estómago, vómito, tos (CONABIO, 2010), fiebre (Willmann *et al*., 2000, como se citó en CONABIO, 2010) y para los cólicos biliares; este último se recomienda prepararlo en

una infusión con las hojas (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009). Los estudios químicos o farmacológicos que convaliden su aplicación terapéutica son escasos (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009), se ha reportado que tiene actividad antioxidante, antinociceptiva (Braga *et al*., 2012), hepatoprotectora (Vestena *et al*., 2019) y antiinflamatoria, y se ha sugerido que estas se deben a la presencia de compuestos fenólicos (Lima *et al*., 2020), o bien, a terpenos que se han identificado en otras especies de Verbena. Por ello, es importante ampliar la información sobre la composición fitoquímica de *V. litolaris* y comprobar su capacidad para el tratamiento de infecciones bacterianas. Por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el efecto antibacteriano de los extractos orgánicos de *Verbena litoralis* sobre las cepas *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella typhimurium*, además de realizar su tamizaje fitoquímico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Se recolectaron 20 plantas completas de varios individuos distribuidos al azar de *Verbena litoralis*, en la ciudad de Comitán de Domínguez, Chiapas, en agosto 2022, siendo sus coordenadas geográficas 16°15' N y 92° 08' W, y con una altitud de 1,600 msnm.

2.2. Microorganismos

Las cepas evaluadas fueron *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 (donado por el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste), *Escherichia coli*, ATCC 25922 (donado por el Laboratorio Estatal de Salud Pública del estado de Chiapas), *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* (donadas por el laboratorio de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de México).

2.3. Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar, la muestra vegetal se dividió en tallo y hojas, y se utilizaron tres disolventes de diferente polaridad: etanol, metanol y acetona, de los cuáles se obtuvieron seis extractos que al incluir el testigo positivo (antibiótico) y los testigos negativos (disolventes), se evaluaron 10 tratamientos por triplicado con un total de 30 unidades experimentales para cada microorganismo, siendo las variables de respuesta: los halos de inhibición y el efecto inhibitorio.

2.4. Preparación de los extractos orgánicos

Se pesaron las muestras vegetales secas y pulverizadas y se adicionó a cada una el disolvente correspondiente según el diseño experimental en una proporción de 1:10 (m/v). Las seis mezclas se sonicaron por 2.5 horas a 20 °C en un sonicador VEBOR de 40 Hertz modelo: JPS-20ª. Transcurrido ese tiempo, cada extracto se filtró al vacío y centrifugó a 3500 rpm durante 15 min, los sobrenadantes se concentraron a presión reducida (16 inHg) a 40°C en un rotavapor HEIDOLPH y el líquido recuperado de cada extracto crudo se depositó en frascos ámbar, que se conservaron en refrigeración para su posterior uso (Kuete *et al*., 2006).

2.5. Actividad antibacteriana por discos impregnados

Para la evaluación antimicrobiana se empleó el método de difusión en agar con discos impregnados, basado en el Método de Kirby-Bauer. Con una concentración de inoculo de 1 x 10^8 UCF mL^{-1}, distribuido mediante una varilla acodada en la superficie de las cajas Petri con agar Mueller Hinton. Posteriormente, se colocaron discos de papel filtro Whatman N.° 5 estéril, impregnados con 15 µL de los extractos crudos (Pandey, 2019), como testigo negativo se empleó el disolvente del extracto y como testigo positivo 30 µg mL^{-1} de cloranfenicol por disco (Vaghasiya y Chanda, 2007; Pandey, 2019). Cada experimento se realizó por triplicado. Las cajas se incubaron durante 48 h a 37°C, se midió el halo de inhibición y se determinó el efecto inhibitorio relativo, en función al control positivo, mediante la fórmula:

$$\%\ Efecto\ inhibitorio\ (\%\ EI) = \left(\frac{media\ de\ diámetro\ del\ halo\ de\ inhibición}{diámetro\ de\ halo\ de\ inhibición\ control\ positivo}\right) x\ 100$$

2.6. Determinación de la Concentración Mínima inhibitoria

Para aquellos microorganismos que mostraron mayor susceptibilidad ante los extractos crudos se determinó su concentración mínima inhibitoria (CMI) mediante el método de microdilución en caldo, empleando microplacas de 96 pocillos de fondo plano estéril (Canche, 2019). La incubación de las microplacas fue a 37°C durante 24 h. Los experimentos se realizaron por triplicado.

2.7. Análisis fitoquímico

Se realizó de forma cualitativa mediante Cromatografía en Capa Fina (CCF), empleando como fase móvil cloroformo-acetona-ácido acético (9:1:0.2)

(Wagner *et al*., 1996). El análisis cuantitativo de compuestos fenólicos se realizó mediante espectrofotometría de luz visible mediante los métodos colorimétricos: cloruro de aluminio para flavonas y flavonoles (Chang *et al*., 2002), 2-aminoetildifenilborato para flavonoides totales (Robertson & Hall, 1989) y Folin Ciocalteau para fenoles totales (Singleton *et al*., 1999), utilizando un espectrofotómetro Hach Dr 5000.

2.8. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron utilizando un análisis de varianza (ANOVA) unidireccional y la comparación de medias se realizó por la prueba de Tukey ($P<0.05$). El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software Statgraphics Centurion XIX® (Statgraphics Technologies, Inc., Madrid, España).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron seis extractos crudos de *V. litoralis*, con los cuales se analizó el efecto antibacteriano sobre las cepas patógenas *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* y *E. coli* que producen enfermedades gastrointestinales, los valores obtenidos de halos de inhibición así como de efecto inhibitorio, mostraron que únicamente tres extractos tuvieron un efecto positivo de inhibición del crecimiento bacteriano, y el análisis estadístico indicó que hubo diferencia significativa respecto a la sensibilidad de las cepas con los extractos con halos entre 6.17 a 9.9 mm (Figura 1), siendo el extracto metanólico de hoja con el que se obtuvo el 40.5 y 42.4 % de efecto inhibitorio sobre *E. coli* y *S. aureus* tal como se muestra en la Tabla 1. El crecimiento bacteriano se vio interrumpido en un lapso de 24 horas, donde se determinó que la CMI más baja (5 mg/mL) fue con el extracto etanólico de tallo para todos los microorganismos analizados.

La evidencia reportada del uso de *V. litoralis* en la medicina tradicional herbolaria, así como las diferencias en el efecto antibacteriano de los extractos en este estudio, condujo a la realización de estudios fitoquímicos con el fin de relacionar tal efecto con la interacción de los compuestos presentes. El análisis cualitativo de los extractos de hojas y tallos (Tabla 2) reveló la presencia de los tres grupos principales de metabolitos secundarios: alcaloides, saponinas, flavonoides, cumarinas, antronas y antraquinonas, siendo abundantes, principalmente, en los extractos metanólico y etanólico, lo que sugiere que el efecto positivo de inhibición puede ser debido a la interacción de las moléculas de polaridad alta, principalmente por los grupos hidroxilos que presentan los compuestos fenólicos, de los cuales se ha reportado la presencia de ácidos fenólicos tales como: ácido cloro-

génico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido vanílico y ácido ferúlico así como de flavonoides como luteolina y apigenina (Lima *et al*., 2020), otros metabolitos con actividad biológica que se han identificado para *V. officinalis*, una especie perteneciente al mismo género, son: limoneno, 1,8-cineol, ar-curcumeno, epoxicariofileno, espatulenol, citral, geraniol y verbeneno de naturaleza lipofílica, que corresponden a monoterpenos y sesquiterpenos, que junto con artemitina, sorbifolina, pedalitina, nepetina y 7-O-β-D-glucuronopiranosil-apigenina se les considera responsables de sus propiedades biológicas (Deepak *et al*., 2000; Zhang *et al*., 2000). También destaca en los extractos crudos de *V. litolaris* su alto contenido de compuestos fenólicos, principalmente, flavonoides con 11.75 ± 0.03 µg Eq Rutina/mL para el extracto metanólico de hoja (Tabla 3).

La riqueza y contenido de metabolitos secundarios en estos extractos puede explicar su efecto sobre el crecimiento de los microorganismos. Al respecto, Rodríguez-Pava *et al*., (2017) mencionan que metabolitos tales como alcaloides, flavonoides, taninos, y otros compuestos de naturaleza fenólica son responsables de las actividades antimicrobianas en plantas superiores. Por su parte, Díaz-Solares *et al*., (2017) indicaron que las propiedades farmacológicas de los extractos vegetales se atribuyen al alto contenido de compuestos fenólicos, los cuales, a su vez, se relacionan con actividades antioxidantes y antimicrobianas.

La actividad antimicrobiana de los compuestos fenólicos, tal como mencionan Aguilar-Mendez *et al*., (2020), implica la reacción de los fenoles con las proteínas de la membrana celular o los grupos sulfhidrilos de las proteínas, lo que provoca la muerte bacteriana por precipitación de las proteínas de la membrana e inhibición de algunas enzimas. Se ha demostrado que el efecto de flavan-3-oles sugieren que estas clases de flavonoles inhiben la síntesis de ácidos nucleicos a través de la inhibición de la topoisomerasa o hídrofolato reductasa (Gradišar *et al*., 2007; Navarro-Martínez *et al*., 2005). Ikigai *et al*., (1993) usaron liposomas como modelos de membranas bacterianas para probar la actividad del (-) -epigalocatequin-3-galato (EGCG) sobre ellas y encontraron que esta catequina producía la fuga de pequeñas moléculas provenientes del espacio intraliposomal. El EGCG exhibió actividad contra *E. coli*, esto fue descrito por Nakayama, *et al*. (2013). Se descubrió que el EGCG interactúa con la proteína porina de la membrana externa de *E. coli*, inhibiendo así la función principal de la porina, a saber, el transporte de pequeñas moléculas hidrófilas como la glucosa, lo que conduce, finalmente, a la inhibición del crecimiento de *E. coli*. El ácido fosfatídico es el intermediario universal en la síntesis de glicerofosfolípidos de membrana (Machinandiarena *et al*., 2020), en las bacterias esta síntesis se lleva a cabo mediante un complejo de múltiples enzimas individuales conocida como la sintasa II de ácidos grasos (FAS II) (Machinandiarena *et al*., 2020; Zhang y

Rock, 2004). Al ser una diana atractiva para el desarrollo de antibióticos, diversos estudios demostraron que diversos flavonoides exhiben acción inhibitoria sobre alguna de estas enzimas en la sintetasa de ácidos grasos.

CONCLUSIÓN

Los extractos crudos polares de hojas y tallo de *V. litoralis* son una fuente de compuestos fenólicos, terpénicos y alcaloides, con la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias como *E. coli, P. aeruginosa, S. aureus* y *S. typhimurium*, lo cual proporciona validez al uso empírico de infusiones para tratar los síntomas de una infección gastrointestinal. Sin embargo, se requieren de otros estudios que permitan definir si la actividad antibacteriana es por una molécula en particular o es una acción sinérgica de los metabolitos presentes, así como probar su efecto citotóxico.

REFERENCIAS

Aguilar Méndez, M. A., Campos Arias, M. P., Quiroz Reyes, C. N., Ronquillo-de Jesús, E., Cruz Hernández, M. A. (2020). Cáscaras de frutas como fuentes de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 52*(1), 360–371.

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. (2009). V*erbena litoralis Kunth*. http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=verbena-litoralis

Braga, V. F., Mendes, G. C., Oliveira, R. T. R., Soares, C. Q. G., Resende, C. F., Pinto, L. C., Santana, R. de ., Viccini, L. F., Raposo, N. R. B., Peixoto, P. H. P. (2012). Micropropagation, antinociceptive and antioxidant activities of extracts of *Verbena litoralis Kunth* (Verbenaceae). *Anais Da Academia Brasileira De Ciências, 84*(1), 139–148. https://doi.org/10.1590/S0001-37652012000100014

Campos Saldaña, R. A., Solís Vázquez, del O., Velázquez Nucamendi, A., Cruz Magdaleno, L. A., Cruz Oliva, D. A., Vázquez Gómez, M., Rodríguez Larramendi, L. A. (2018). *Saber etnobotánico, riqueza y valor de uso de plantas medicinales en Monterrey, Villa Corzo, Chiapas (México).*

Canche, E.C. (2019). Extraction of phenolic components from an Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) crop and their potential as antimicrobials and textile dyes. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*,14: 100168.

Chang, C.C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods, *J. Food Drug Anal*. 10:178-182.

CONABIO. (2010). *Verbena litoralis Kunth*. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/verbenaceae/verbena-litoralis/fichas/ficha.htm

Deepak, M., Handa, S. (2000) Antiinflammatory activity and chemical composition of extracts of Verbena officinalis, *Phytotherapy research, 14*(6): 463-465.

Díaz Solares, M., Lugo Morales, Y., Fonte Carballo, L., Castro Cabrera, I., López Vigoa, O., Montejo Sierra, I. L. (2017). Evaluación de la actividad antimicrobiana de extractos frescos de hojas de *Morus alba* L. *Pastos y Forraje, 40*(1), 43–48.

Gallegos -Zurita, Maritza. (2016). Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. *Anales de la Facultad de Medicina, 77*(4), 327-332.

Gradišar, H., Pristovšek, P., Plaper, A., Jerala, R. (2007). Green tea catechins inhibit bacterial DNA gyrase by interaction with its ATP binding site. *Journal of medicinal chemistry, 50*(2), 264–271. https://doi.org/10.1021/JM060817O

Hernández Cortez, C., Aguilera Arreola, M. G., Castro Escarpulli, G. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología, 31*(4), 137–151.

Ikigai, H., Nakae, T., Hara, Y., Shimamura, T. (1993). Bactericidal catechins damage the lipid bilayer. *Biochimica et biophysica acta, 1147*(1), 132–136. https://doi.org/10.1016/0005-2736(93)90323-R

Kamatenesi-Mugisha, M., Buyungo, J. P., Ogwal, P., Kasibante, A., Deng, A.L., Ogendo, J.O., Mihale, M.J., (2013). Oral acute toxicity study of selected botanical pesticide plants used by subsistence farmers around the Lake Victoria Basin. *Afr. J. Environ. Sci.Technol. 7*(3): 93-101.

Kuete V, Tangmouo JG, Penlap BV, Ngounou FN, Lontsi D. 2006. Antimicrobial activity of the methanolic extract from the stem bark of Tridesmostemon omphalocarpoides (Sapotaceae). *J Ethnopharmacol* 104: 5 - 11.

Lima, R. de ., Brondani, J. C., Dornelles, R. C., Lhamas, C. L., Faccin, H., Silva, C. V., Dalmora, S. L., Manfron, M. P.. (2020). Anti-inflammatory activity and identification of the *Verbena litoralis Kunth* crude extract constituents. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences,* 56, e17419. https://doi.org/10.1590/s2175-97902019000417419

Machinandiarena, F., Nakamatsu, L., Schujman, G. E., de Mendoza, D., Albanesi, D. (2020). Revisiting the coupling of fatty acid to phospholipid synthesis in bacteria with FapR regulation. *Molecular microbiology, 114*(4), 653–663. https://doi.org/10.1111/MMI.14574

Nakayama, M., Shimatani, K., Ozawa, T., Shigemune, N., Tsugukuni, T., Tomiyama, D., Kurahachi, M., Nonaka, A., Miyamoto, T. (2013). A study of the antibacterial mechanism of catechins: Isolation and identification of *Escherichia coli* cell surface proteins that interact with epigallocatechin gallate. *Food Control, 33*(2), 433–439. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2013.03.016

Navarro-Martínez, M. D., Navarro-Perán, E., Cabezas-Herrera, J., Ruiz-Gómez, J., García-Cánovas, F., Rodríguez-López, J. N. (2005). Antifolate Activity of Epigallocatechin Gallate against *Stenotrophomonas maltophilia. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 49*(7), 2914. https://doi.org/10.1128/AAC.49.7.2914-2920.2005

Organizacion Mundial de la Salud. (2020, julio 31). *Resistencia a los antibióticos*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/resistencia-a-los-antibióticos

Organización Mundial de la Salud. (2021, marzo 4). *Patógenos multirresistentes que son prioritarios para la OMS - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. https://www.paho.org/es/noticias/4-3-2021-patogenos-multirresistentes-que-son-prioritarios-para-oms

Pandey, R. S. (2019). Evaluation of phytochemical, antimicrobial, antioxidant activity and cytotoxic potentials of *Agave americana*. *Nepal Journal of Biotechnology, 7*(1):30-38.

Robertson, A., Hall, M.N. (1989). A critical investigation into the flavognost Method for Thea flavin Analysis in Black Tea, *Food Chemistry*. 34, 57-70.

Rodríguez Pava, C. N., Zarate Sanabria, A. G., & Sánchez Leal, L. C. (2017). Actividad antimicrobiana de cuatro variedades de plantas frente a patógenos de importancia clínica en Colombia. *NOVA, 15*(27), 119–129.

Schoch, C. L., Ciufo, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcyeigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Tuner, S., & Karsch-Mizrachi, I. (2020). *NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Database (Oxford)*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=141992

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent, *Methods Enzymology*. 299, 152-178.

Vaghasiya, Y., Chanda, S. (2007). Screening of methanol and acetone extracts of fourteen indian medicinal plants for antimicrobial activity . *Turkish Journal Of Biology*, 31:243-24

Vestena, A., Piton, Y., de Loretto Bordignon, S. A., Garcia, S., Arbo, M. D., Zuanazzi, J. A., Von Poser, G. (2019). Hepatoprotective activity of *Verbena litoralis*, *Verbena montevidensis* and their main iridoid, brasoside. *Journal of Ethnopharmacology*, 111906. doi:10.1016/j.jep.2019.111906

Wagner, H., Bladt, S., Zgainski, E.M. (1996). Plant Drug Analysis. A Thin Layer Chromatography. Springer-Verlag, Berlín.

Zhang, T., Ruan, JL. Lu, ZM. (2000) Studies on chemical constituents of aerial parts of *Verbena officinalis* L. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 25* (11): 676-678

Zhang, Y. M., Rock, C. O. (2004). Evaluation of epigallocatechin gallate and related plant polyphenols as inhibitors of the FabG and FabI reductases of bacterial type II fatty-acid synthase. *The Journal of biological chemistry, 279*(30), 30994–31001. https://doi.org/10.1074/JBC.M403697200

ANEXO 1

Tabla 1

Actividad antimicrobiana de los extractos crudos de Justicia spicigera sobre las cepas de "Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella typhimurium y Escherichia coli"

Extractos crudos	S. aureus		P. aeruginosa		S. typhimurium		E. coli		CMI mg/mL
	HI mm	EI %	HI mm	EI %	HI mm	EI %	HI mm	EI %	
MH	8.87 a	42.4 a	6.67 b	25.0 b	6.67 a	32.6 a	9.67 a	40.5 a	50
ET	7.67 b	36.6 b	9.90 a	37.1 a	8.00 a	39.1 a	9.02 a	37.7 a	5
AT	6.33 bc	30.2 bc	6.17 b	23.2 b	7.51 a	36.7 a	6.42 b	26.9 b	18.33
CL	20.94		26.65		20.42		23.9		

Nota. Valores promedio seguidos de al menos una misma letra no son significativamente diferentes entre extractos por cada cepa estudiada a P ≤ 0.05 (Prueba de Tukey). M: Metanol, A: Acetona, H: Hoja, T: Tallo. CL: cloranfenicol. HI: Halo de inhibición; EI: Efecto inhibitorio; CMI: Concentración mínima inhibitoria.

Tabla 2

Caracterización fitoquímica de extractos crudos de "Verbena litoralis" por cromatografía de capa fina

Extractos Crudos	Alcaloides	Saponinas	Flavonoides	Cumarinas	Antronas	Antraquinonas
MH	+	+	+++	++	+	++
MT	++	++	++	++	+	++
AH	-	-	++	-	-	+
AT	-	++	+	+	+	++
EH	+++	++	+	+	-	-
ET	+++	+++	+++	+	+	++

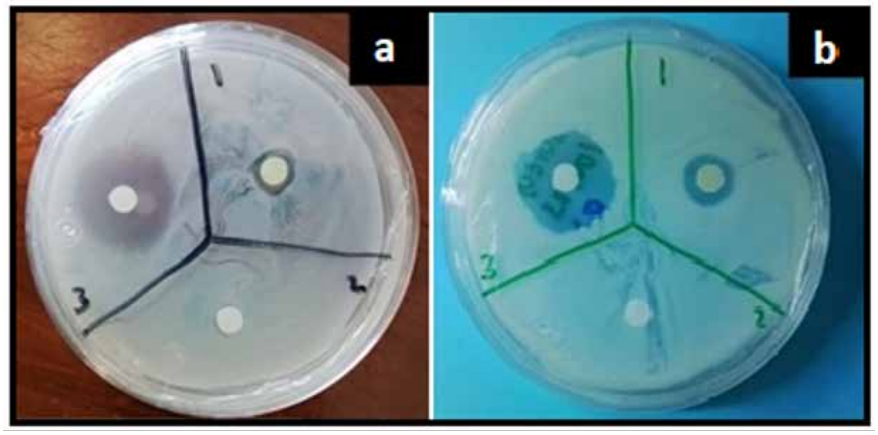
Nota. M: Metanol, A: Acetona, E: Etanol, H: Hoja, T: Tallo. Presencia abundante (+++), moderada (++), leve (+), nula (-) de acuerdo con Kamatenesi-Mugisha *et al*., (2013)

Tabla 3

Cuantificación de compuestos fenólicos en los extractos crudos de "Verbena litoralis"

Extractos crudos	Flavonas y flavonoles µg Eq quercetina/mL	Flavonoides totales µg Eq rutina/mL	Fenoles totales µg Eq ác. gálico/mL
MH	2.63 + 0.01 b	11.75 + 0.03 a	9.20 + 0.02 a
ET	0.53 + 0.02 c	0.53 + 0.01 c	1.80 + 0.02 b
AT	4.88 + 0.07 a	2.05 + 0.01 b	1.46 + 0.01 c

Nota. Valores promedio seguidos de al menos una misma letra no son significativamente diferentes entre extractos a P ≤ 0.05 (Prueba de Tukey). M: Metanol, A: Acetona, E: Etanol, H: Hoja, T: Tallo.



Nota. a) extracto etanólico de tallo, b) extracto metanólico de hoja. 1) extractos, 2) testigo negativo (disolvente), 3) testigo positivo (antibiótico)

Figura 1. Halos de inhibición de crecimiento de Saureus en presencia de los extractos orgánicos de V. litoralis

Recepción: **Agosto 28, 2022** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Análisis de los Cultivos Estratégicos Básicos de México, a través del Índice de Autosuficiencia Alimentaria, 2011-2020

Analysis of the basic strategic crops of Mexico through the Food Self-Sufficiency Index, 2011-2020

—

Antonio Favila Tello
antonio.favila@umich.mx
ORCID: 0000-0001-8652-147X

Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Para citar este artículo:
Favila Tello, A. Análisis de los Cultivos Estratégicos Básicos de México, a través del Índice de Autosuficiencia Alimentaria, 2011-2020. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a03

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo calcular el Índice de Autosuficiencia Alimentaria (IAA) para un conjunto de nueve de los cultivos estratégicos básicos señalados por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México, siendo los seleccionados el arroz, la avena, el cacao, el café, el frijol, la manzana, la soya, el sorgo y el trigo, para el periodo 2011-2020. El IAA ayuda a medir el estado y evolución de la capacidad nacional para satisfacer el abasto interno de un determinado bien. Valores bajos del IAA indican que el abasto de dicho producto es altamente dependiente de las condiciones que imperen en los mercados internacionales del mismo. Para el caso mexicano, los valores más bajos del IAA se encontraron en la soya, el arroz y la avena. Los productos que mostraron las condiciones más favorables fueron el café, el frijol, la manzana y el sorgo.

Palabras clave:

Alimentación; suficiencia; cultivos básicos; importaciones; exportaciones.

— Abstract—

The objective of this study is to calculate the Food Self-Sufficiency Index (IAA) for a set of nine of the basic strategic crops indicated by the Ministry of Agriculture and Rural Development of the Government of Mexico, the selected ones being rice, oats, cocoa, coffee, beans, apples, soybeans, sorghum and wheat, for the period 2011-2020. The IAA helps to measure the state and evolution of the national capacity to satisfy its internal supply of a certain good. Low values of the IAA indicate that the supply of said product is highly dependent on the conditions prevailing in its international markets. For the Mexican case, the lowest IAA values were found in soybeans, rice and oats. The products that showed the most favorable conditions were coffee, beans, apples and sorghum.

Keywords:

Food; sufficiency; staple crops; imports; exports.

La autosuficiencia alimentaria se alcanza cuando se satisfacen las necesidades alimenticias de la población mediante la producción local. Entre otros factores, esta depende de las actividades de fomento a la producción de un conjunto determinado de bienes, de la disponibilidad de insumos (las semillas, los fertilizantes, los combustibles y la maquinaria) y de la acción de las políticas públicas, en particular de aquellas relacionadas con la competencia y el comercio. En tal escenario, la autosuficiencia alimentaria implica no solo el incremento en la producción local, sino también el disminuir la dependencia de las importaciones de alimentos y procurar las exportaciones, esperando que estas traigan recursos frescos que ayuden a dinamizar al campo mexicano (Cruz *et al*., 2021).

Por otro lado, la denominación de cultivos básicos y estratégicos proviene de la Ley de Desarrollo Rural del año 2000, esta clasificación obedece a un conjunto de características tales como el número de personas que se emplean en ellos, su relevancia para la economía nacional, su importancia ecológica, sus implicaciones para mantener la salud, la seguridad pública y su participación en la dieta de los mexicanos. Además, la ley incluyó como actividades estratégicas a la producción, el abasto e industrialización de huevo, la leche, la carne de bovinos, porcinos, aves y pescado (CEDRSSA, 2019).

El carácter de básico y estratégico confiere a estos cultivos una serie de protecciones legales y los hace sujetos de actividades específicas de fomento para su cultivo, abasto y transformación. Por lo cual, incluye dar preferencia en su comercialización a la producción nacional, facilitar a los productores de estos bienes el acceso al financiamiento, procurar que dichos bienes sean asequibles para todos los mexicanos y proporcionar a estas actividades un carácter prioritario en la negociación de los acuerdos comerciales internacionales (CEDRSSA, 2019).

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), se consideran como cultivos estratégicos básicos el arroz, la avena, el cacao, el café, la caña de azúcar, el frijol, el maíz blanco y amarillo, la manzana, la canola, el cártamo, girasol, la soya, el sorgo y el trigo (SADER, 2017).

Pese a las relativas ventajas legales manifestadas, la situación actual de varios de estos cultivos es sumamente complicada y la autosuficiencia nacional en su abasto se encuentra supeditada a lo que ocurra con ellos en los mercados internacionales. Muestra de ello son los recientes retrocesos experimentados en la producción de varios de estos bienes en los años recientes.

Si se toma en consideración el periodo comprendido del año 2011 al 2020, puede observarse que disminuyó la producción de al menos cuatro de los cultivos básicos estratégicos en México. La del cacao disminuyó en un 30 %, la del café en un 26 %, la del sorgo en un 32 % y la del trigo en un 18 % (FAO, 2022). Lo anterior pone en duda si las medidas preferenciales mencionadas se han traducido en mejoras a la autosuficiencia o la soberanía alimentaria.

El presente trabajo, con aspiraciones descriptivas, tiene por objetivo medir el Índice de Autosuficiencia Alimentaria (IAA) para un conjunto de nueve cultivos estratégicos básicos mexicanos, por el periodo comprendido de 2011 a 2020. La selección de estos nueve cultivos y del periodo de estudio se basó en la disponibilidad de información en las bases de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Los cultivos elegidos fueron el arroz, la avena, el cacao, el café, el frijol, la manzana, la soya, el sorgo y el trigo. Se pretende demostrar la hipótesis descriptiva que indica que en la mayoría de estos cultivos México no es autosuficiente y es dependiente de las importaciones de los mismos. A continuación, se muestra una revisión de la literatura del tema, seguida de la exposición del método utilizado y los resultados encontrados, para después cerrar con las conclusiones del estudio.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

La autosuficiencia alimentaria se encuentra vinculada al concepto de la seguridad alimentaria. La seguridad alimentaria se define como el acceso de la población a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, que permitan llevar una dieta que fomente la salud y complazca las preferencias de los individuos, sus dimensiones básicas son la disponibilidad, la accesibilidad, la utilización y la estabilidad. La dimensión de disponibilidad se refiere a las cantidades existentes de alimentos, sean estos provenientes de la producción nacional (es decir, de la autosuficiencia) o de las importaciones (Pérez, 2020).

La dimensión de acceso se refiere a las capacidades de la población para adquirir los productos que se requieren para su alimentación; la utilización se refiere a conjugar la alimentación, el acceso al agua potable, la sanidad y la atención médica para procurar el bienestar y la salud pública; y finalmente, la dimensión de estabilidad implica la inexistencia de riesgos graves que comprometan el acceso a los alimentos (Pérez, 2020).

Por lo anterior, la autosuficiencia juega un papel primordial en las estrategias alimentarias de las naciones, no solo para la producción y el abasto, sino también para generar condiciones favorables de acceso, utilización y estabilidad. Estas condiciones no se encuentran garantizadas en muchos productos para el caso mexicano, lo cual ha generado numerosas investigaciones alrededor del tema. La tabla 1 contiene algunas investigaciones recientes sobre este tópico.

Tabla 1
Revisión de literatura reciente sobre autosuficiencia alimentaria en México

Espinosa y Zubirán (2022)	Utilizando datos de comercio, se confirma que la comercialización de granos conducida por los países desarrollados debilitó la agricultura tradicional en los países periféricos. En el caso de México, esto provocó el crecimiento de las importaciones de granos y la adopción del modelo agroexportador no tradicional.
Borja y García (2022)	Se evalúa el efecto de los fertilizantes subsidiados en la productividad del frijol mexicano y en la autosuficiencia alimentaria, encontrando entre estos elementos una correlación positiva.
Cruz *et al*. (2021)	Se utiliza una adecuación del IAA para valorar la autosuficiencia en arroz y trigo en México, encontrando que los apoyos de PROCAMPO tienen un impacto efectivo en la productividad de estos cultivos.
Rivera *et al*. (2021)	Utilizando datos de las importaciones y exportaciones de alimentos de México, se concluye que México es altamente dependiente de los alimentos provenientes del exterior, en buena medida por causa de una distribución desigual de los subsidios y financiamientos, los cuales han favorecido principalmente a los grandes productores.
Torres y Rojas (2020)	Los autores calculan una serie de índices de autosuficiencia para concluir que más de la mitad de la población de México se encuentra en algún grado de inseguridad alimentaria.
Pérez (2020)	Utilizando indicadores de autosuficiencia alimentaria se encontró que esta se ve positivamente relacionada con el valor de la producción agrícola y con la infraestructura de distribución, mientras se ve afectada negativamente por la inflación y por el desempleo.
Cotler *et al*. (2020)	Se confirmó la influencia de la erosión y la degradación del suelo en la falta de autosuficiencia alimentaria, especialmente en los estados de Guerrero, Michoacán, Guanajuato y Estado de México.
Martínez (2016)	Se calcula el IAA para el caso del amaranto mexicano, encontrando que es una alternativa positiva para alcanzar la seguridad alimentaria.
Soria *et al*. (2015)	Se concluye que la principal causa de la falta de autosuficiencia alimentaria se encuentra en la manera de operar de los mercados internacionales. Se cierra la investigación con una propuesta de producción y consumo co-participativa centrada en la población rural marginada.
Rivera *et al*. (2014)	Se calcula un índice de autosuficiencia alimentaria para los casos del maíz, el frijol y el trigo en México durante el sexenio 2006-2012, encontrando en los tres casos altas tasas de crecimiento de las importaciones y disminuciones en las superficies sembradas y cosechadas.

Nota. Elaboración propia con base en las fuentes citadas.

Como puede apreciarse, existen puntos en común en estas investigaciones; por ejemplo, el cálculo de índices para medir a la autosuficiencia, el uso de estadísticas de comercio para diagnosticar el fenómeno y la preocupación por el desempeño mexicano en la producción de cereales.

Se trata de un tema complejo relacionado con factores poblacionales, climáticos y de mercado, así como con la influencia de las políticas públicas. Ejemplo de ello son los programas dirigidos a aminorar el hambre en México, los cuales han sido de corte asistencialista, en vez de dirigirse hacia la solución de los problemas del aparato productivo (Soria *et al*., 2015).

Otros problemas del sector, derivados de las decisiones de políticas, pueden identificarse con la adopción del paradigma agroexportador. Este modelo obedece a la idea de la existencia de países centrales consumidores y países periféricos productores; de tal forma, los países periféricos producen para exportar y satisfacer las necesidades de los países centrales, siendo esta una condición necesaria para su crecimiento. En este paradigma la responsabilidad de la producción y el crecimiento se trasladan al sector privado; el gobierno, por su parte, asume un papel de facilitador de estas actividades, favoreciendo a las ramas económicamente eficientes, es decir, a las vinculadas con los mercados internacionales. En la práctica, la adopción de este modelo implicó el descuido del mercado interno y de sus necesidades, así como de los mecanismos sociales tradicionales de redistribución del ingreso (Acosta, 2006).

Para la adopción de este modelo, entre 1983 y 1989, múltiples empresas públicas dedicadas al sector agropecuario fueron vendidas, liquidadas o transferidas (Soria *et al*., 2015), ello empeoró las prácticas desleales de comercio, acentuó la falta de subsidios para compensar los apoyos que se otorgaban a los productores en otros países y afectó la disponibilidad de recursos para el financiamiento y la investigación agrícolas (Schwentesius y Gómez, 1999).

Por lo anterior, cabe agregar la baja prioridad que recibieron los cereales y otros alimentos en las negociaciones del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). El TLCAN supuso la profundización del neoliberalismo en México, se esperaba que este dinamizara el crecimiento económico a consecuencia del incremento en la producción de bienes de exportación y la llegada de mayor Inversión Extranjera Directa (IED). Sin embargo, los efectos del TLCAN en el campo mexicano fueron mixtos y el dinamismo de la producción agrícola de México disminuyó en los años posteriores al TLCAN como efecto de la apertura comercial y de la desprotección de amplios sectores al caer gradualmente las barreras comerciales (Escalante y González, 2018).

Con respecto al rubro de las exportaciones resultó beneficiado a consecuencia de la entrada en vigor del TLCAN. No obstante, esto ocurrió con una escasa inclusión socio-productiva, ya que se estima que solo el 6 % de los productores en México son capaces de exportar. El esquema adoptado favoreció la producción y exportación del ramo hortofrutícola, en detrimento de los productores de granos, de los cuales México se convirtió en un importador neto (Escalante y González, 2018).

Otras preocupaciones frecuentes alrededor del tema se refieren a las implicaciones económicas y políticas de la alimentación. Existe una dinámica de hegemonía y dominio determinada desde las grandes potencias económicas que ha transformado a los alimentos en instrumentos

para la protección de intereses geopolíticos. Lo anterior ha acrecentado la subordinación y la dependencia alimentaria de los países en desarrollo, en detrimento de las unidades productivas marginadas de los mercados internacionales (Espinosa y Zubirán, 2022).

Otra cuestión del sector externo relacionada con la autosuficiencia alimentaria es la disposición de los subsidios. Estos juegan un papel determinante para que la agricultura cumpla su función de proveer alimentos y materias primas a bajo costo y son fundamentales para la competencia en los mercados internacionales. Las altas subvenciones ayudan a las economías centrales a incrementar su producción exportable, cuando esto ocurre, estos países son capaces de forzar la reducción de los precios, provocando una desventaja competitiva en los países subdesarrollados, privilegiando en estos el consumo de bienes importados (Rivera *et al*., 2021).

Adicionalmente, ha habido en México una reducción significativa de la tierra agrícola (entendida como la suma de las tierras de cultivo más las tierras utilizadas para el pastoreo divididas entre el número de habitantes), a partir de los años sesentas y hasta nuestros días. Mientras este indicador era en 1961 de 2.52 hectáreas (ha), para 2018 había disminuido hasta solo 0.85 ha (Ruiz, 2021).

Esta reducción en las superficies cultivables se une a otros problemas como los relacionados con la baja tecnificación y la poca disponibilidad de riego, los cuales impactan en la productividad del campo mexicano. En 2018, el rendimiento promedio en toneladas por hectárea (TPH) para el caso de los cereales en México fue de 3.8 TPH, este mismo indicador fue superior en países como Chile (7.1 TPH), Uruguay (5 TPH), Perú (4.5 TPH), Brasil (4.8 TPH), Colombia (4.5 TPH) y Paraguay (4.2 TPH) (Ruiz, 2021).

2. MATERIALES Y MÉTODOS. EL ÍNDICE DE AUTOSUFICIENCIA ALIMENTARIA (IAA)

El IAA indica en qué medida el país de referencia es autosuficiente en la producción de un determinado bien, es decir, en qué medida puede satisfacer el consumo nacional del mismo sin necesidad del comercio internacional (Ireta *et al*., 2015).

El IAA se encuentra determinado por la fórmula 1:

$$IAA = \frac{Producción\ nacional}{Producción\ nacional + Importaciones - Exportaciones} * 100 \quad [1]$$

El resultado del IAA se expresa en porcentaje; los valores del IAA más altos indican una mayor autosuficiencia y denotan la existencia de condiciones

favorables para la competitividad, es decir, señalan en qué medida el país puede dedicar parte de su producción local al comercio sin comprometer su consumo. Además, los valores bajos del IAA implican que el abasto del producto puede verse comprometido por cambios en los mercados internacionales, tales como los incrementos súbitos en los precios, problemas logísticos, conflictos internacionales y bajas repentinas en la producción; es decir, que se trata de productos en los que el país es vulnerable y dependiente (Ireta *et al*., 2015).

3. RESULTADOS

La tabla 2 muestra el cálculo del IAA para el caso del arroz mexicano. Como puede observarse, pese al incremento en la producción nacional de arroz, este se correspondió a su vez con un incremento en las importaciones. En cuanto a las exportaciones de arroz, estas solo fueron significativas en los años 2017 y 2018. El valor del IAA en este bien se mantuvo entre el 15 y el 23 %, lo que indica que el abasto de este bien con producción nacional no logra cubrir ni siquiera la cuarta parte de lo necesario.

Tabla 2
Cálculo del IAA para el arroz en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	115 698	666 830	1843	15 %
2012	119 251	604 361	1589	17 %
2013	119 911	673 877	1682	15 %
2014	154 850	657 165	1859	19 %
2015	157 424	640 812	2024	20 %
2016	169 447	671 533	9066	20 %
2017	177 133	868 592	88 360	19 %
2018	189 270	737 156	108 770	23 %
2019	163 560	972 795	10 275	15 %
2020	196 990	764 986	7553	21 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

Por otra parte, la avena muestra un comportamiento parecido al del arroz, pero de manera menos drástica. Pese al incremento sostenido en la cantidad producida, esta se ve correspondida con un incremento en las importaciones y, durante todo el periodo, no existieron exportaciones significativas de este bien. Por lo tanto, como se aprecia en la Tabla 3, el porcentaje del consumo nacional de avena que puede solventarse con la producción nacional se encontró entre el 30 y el 57 %.

Tabla 3
Cálculo del IAA para la avena en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	50 582	115 374	21	30 %
2012	84 404	147 735	4	36 %
2013	91 049	110 972	19	45 %
2014	93 021	70 587	13	57 %
2015	84 789	92 668	76	48 %
2016	71 152	123 652	22	37 %
2017	72 092	132 099	36	35 %
2018	99 305	161 872	66	38 %
2019	100 672	151 619	59	40 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

Con el cacao la situación parece más compleja todavía. Durante el periodo de estudio la producción nacional del mismo se contrajo en un 30 %, mientras las importaciones se incrementaron de manera importante hasta el 2019. Si se comparan las importaciones de cacao de México en 2011 con las realizadas en 2019 puede detectarse que estas fueron 2.4 veces superiores. El único año con importaciones de cacao bajas fue el 2020, situación probablemente relacionada con la pandemia. De la misma forma, las exportaciones del bien fueron poco significativas en la mayoría de los años considerados. Por otra parte, como se aprecia en la Tabla 4, el valor del IAA se encontró entre el 38 y el 89 %.

Tabla 4
Cálculo del IAA para el cacao en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	42 175	18 922	238	69 %
2012	38 825	13 590	277	74 %
2013	33 284	22 953	2246	62 %
2014	26 969	28 659	210	49 %
2015	28 007	23 521	134	54 %
2016	26 863	38 293	169	41 %
2017	27 287	41 322	1032	40 %
2018	28 399	38 547	476	43 %
2019	28 452	46 607	115	38 %
2020	29 429	3711	26	89 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

Otro caso que llama la atención es el del café mexicano, el cual, pese a haber contraído su producción durante el periodo de estudio en un 26 %, tuvo también exportaciones considerablemente superiores a las importaciones, como se aprecia en la Tabla 5. Es decir, se trata de un cultivo en el cual México muestra autosuficiencia alimentaria y solvencia para abastecer a los mercados internacionales.

Tabla 5
Cálculo del IAA para el café en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	237 056	11 635	112 452	174 %
2012	246 121	5895	160 771	270 %
2013	231 596	8153	140 090	232 %
2014	214 667	31 114	102 447	150 %
2015	188 934	48 027	91 998	130 %
2016	151 714	65 669	79 916	110 %
2017	153 777	31 232	112 988	214 %
2018	158 308	22 700	113 354	234 %
2019	165 712	39 771	97 986	154 %
2020	175 555	25 193	100 767	176 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

El frijol mexicano también parece tener un desempeño adecuado. Se trató de un cultivo que incrementó de manera sostenida su producción durante el periodo, y con valores de la IAA relativamente altos, como se aprecia en la Tabla 6, que estuvieron en un rango entre el 83 y el 99 %.

Tabla 6
Cálculo del IAA para el frijol en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	567 779	104 897	37 593	89 %
2012	1 080 857	235 687	16 879	83 %
2013	1 294 634	134 494	32 908	93 %
2014	1 273 957	82 206	65 051	99 %
2015	969 146	88 543	36 800	95 %
2016	1 088 767	163 791	32 892	89 %
2017	1 183 868	151 215	74 343	94 %
2018	1 196 156	166 030	51 196	91 %
2019	879 404	123 491	43 823	92 %
2020	1 056 071	143 529	48 059	92 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

En cuanto a la manzana se refiere, en la Tabla 7 se aprecia que este cultivo incrementó su producción durante el periodo 2011-2020 y, pese a que las importaciones también se incrementaron y las exportaciones fueron menores, conservó valores adecuados en el IAA en un rango entre el 61 y el 77 %.

Tabla 7
Cálculo del IAA para la manzana en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	630 533	198 481	613	76 %
2012	375 045	235 893	261	61 %
2013	858 608	274 978	269	76 %
2014	716 865	235 502	305	75%
2015	750 325	306 402	313	71 %
2016	716 931	212 678	1656	77 %
2017	714 149	280 930	910	72 %
2018	659 692	278 859	683	70 %
2019	761 483	252 224	606	75 %
2020	714 203	247 522	414	74 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

De los productos seleccionados, el que muestra la mayor vulnerabilidad es la soya. Las importaciones de este cultivo exceden por mucho a la producción nacional, incluso han llegado a ser hasta veinte veces superiores. Por otro

lado, las exportaciones mexicanas de este bien fueron mínimas durante el periodo de estudio y, como se aprecia en la Tabla 8, sus valores en el IAA se encontraron entre el 5 y el 11 %.

Tabla 8

Cálculo del IAA para la soya en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	205 234	3 340 376	85	6 %
2012	247 500	3 477 274	74	7 %
2013	239 248	3 612 685	265	6 %
2014	387 366	3 891 859	353	9 %
2015	341 088	3 890 229	227	8 %
2016	509 114	4 038 864	80	11 %
2017	432 927	4 341 346	528	9 %
2018	324 011	5 175 784	111	6 %
2019	232 680	4 851 030	1253	5 %
2020	246 019	3 900 201	601	6 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

Con respecto al sorgo, este mostró fortalezas en cuanto a su producción nacional, la cual fue superior a las importaciones durante todo el periodo estudiado. Lo anterior contribuyó para que los valores en el IAA de este cultivo se encontraran entre el 73 y el 99 % como se aprecia en la Tabla 9.

Tabla 9

Cálculo del IAA para el sorgo en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	6 429 311	2 380 276	297	73 %
2012	6 969 502	1 726 232	386	80 %
2013	6 308 146	1 206 062	5 977	84 %
2014	8 394 057	72 702	7 249	99 %
2015	5 195 389	235 911	1 761	96 %
2016	5 005 837	645 966	653	89 %
2017	4 853 110	427 730	300	92 %
2018	4 531 097	220 378	2 427	95 %
2019	4 352 947	743 650	221	85 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

En el caso del trigo puede identificarse que las importaciones del mismo fueron superiores a la producción nacional durante todo el periodo. Los valores del IAA para este cultivo se encontraron en un rango entre el 42 y el 55 %, como se aprecia en la Tabla 10, lo que implica que México es dependiente en buena medida de las importaciones de trigo para solventar su consumo nacional.

Tabla 10
Cálculo del IAA para el trigo en el caso de México

Año	Producción en toneladas	Importaciones en toneladas	Exportaciones en toneladas	IAA
2011	3 627 511	4 047 832	835 908	53 %
2012	3 274 337	4 641 718	612 499	45 %
2013	3 357 307	4 166 753	732 745	49 %
2014	3 669 814	4 503 452	1 263 699	53 %
2015	3 710 706	4 182 851	909 195	53 %
2016	3 862 914	4 683 805	1 517 088	55 %
2017	3 503 521	4 900 848	490 031	44 %
2018	2 943 445	4 920 401	838 956	42 %
2019	3 244 062	4 804 838	736 296	44 %
2020	2 986 689	3 726 125	255 638	46 %

Nota. Elaboración propia con datos de FAO (2022).

4. DISCUSIÓN

Calcular el IAA para los productos mencionados en el presente estudio, como se aprecia en la Tabla 11, con datos para 1990, es decir, para un periodo anterior a la intensificación de la apertura comercial de mediados de los noventa, puede poner en perspectiva los resultados encontrados.

Tabla 11
Cálculo del IAA para los productos seleccionados. Datos en toneladas para el año 1990

Producto	Producción	Importaciones	Exportaciones	IAA
Arroz	394 388	18 114	25	96 %
Avena	120 671	3931	16	97 %
Cacao	44 045	3 495	10	93 %
Café	440 000	719	190 570	176 %
Frijol	1 287 364	330 471	210	80 %
Manzana	456 538	4 456	115	99 %
Soya	575 366	897 021	74	39 %
Sorgo	5 978 159	2 861 640	4410	68%
Trigo	3 930 934	338 771	2297	92 %

Nota. Cálculos propios con base en datos de FAO (2022).

Como puede observarse, los cambios severos en el IAA ocurrieron, principalmente, en los granos como el arroz, la avena, la soya y el trigo. Incluso el IAA se incrementó en algunos productos, si se compara 1990 con el 2020, tales como el frijol o el sorgo. Otros estudios que pueden ser de utilidad para contrastar los resultados de la presente investigación incluyen los siguientes:

Ayala *et al*. (2011) utilizaron el IAA para valorar el desempeño del sector agropecuario mexicano, encontrando que, entre 1993 y 2009, la autosuficiencia alimentaria (calculada para este sector en su conjunto) pasó de ser cercana al 100 % a aproximarse a solo el 88 %; esto a su vez se correlacionó fuertemente con el incremento en la apertura comercial y el déficit en la balanza comercial agroalimentaria, fenómenos que ocurrieron durante el mismo periodo.

Por su parte, Ireta *et al*. (2015) comprobaron una relación entre la caída en el IAA y el incremento en las importaciones de arroz realizadas por México, lo cual indica una pérdida sostenida en la competitividad en el comercio de este producto y la falta de producción nacional para satisfacer el abasto.

Por otro lado, Favila y Herrera (2023) midieron el IAA para el caso del arroz mexicano durante el periodo 2010-2018, utilizando para ello datos provenientes del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP); los valores del IAA resultantes mostraron ser muy parecidos a los obtenidos en esta investigación, con solo pequeñas variaciones de entre el 1 y el 2 %.

Otro índice que comparte el sentido del IAA es el Coeficiente de Dependencia de las Importaciones de Cereales, el cual es publicado por la FAO (2022). Este coeficiente se calcula por periodos de tres años y estima el porcentaje que representan las importaciones en el consumo aparente de granos. En el caso de México, para el periodo 2014-2016 este indicador

alcanzó un valor de 29.8 %, para el periodo 2017-2019 de un 37 %, y para el periodo 2018-2020 de un 39 %, lo cual refleja la dependencia de México hacia las importaciones de granos y la tendencia creciente de la misma.

Los resultados obtenidos son congruentes con lo pronunciado en el estudio de Velázquez *et al*. (2020), quienes señalaron que México perdió su competitividad internacional en granos a partir de mediados de los años noventa. Sin embargo, conservó (o incluso incrementó) su competitividad en aquellos productos beneficiados por el paradigma agroexportador (particularmente en algunas frutas y hortalizas).

Lo anterior concuerda con el trabajo de Baer y Sadowski (2019) quienes señalaron que, entre los años noventa y el presente, los países asumieron una de tres posiciones posibles en cuanto a su autosuficiencia alimentaria: a) países que por su disponibilidad de capital y recursos naturales pueden aspirar a la autosuficencia y exportar; b) países cuyo capital les permite garantizar su abasto de alimentos con importaciones; y c) países cuyo abasto de alimentos se encuentra comprometido por factores económicos y naturales. Cabe resaltar que la dependencia hacia las importaciones podría no ser necesariamente negativa, en tanto permita la eficiencia económica y la alimentación en países con rezagos económicos, tecnológicos o escasez de recursos naturales. México en este caso muestra características del grupo b, al menos en aquellos cultivos que no se encuentran orientados hacia los mercados internacionales.

CONCLUSIONES

La denominación de cultivos estratégicos básicos tuvo la intención acertada de incentivar la producción de determinados bienes para garantizar su abasto. Sin embargo, en la práctica esto no fue suficiente para compensar los efectos de la apertura de las fronteras, la competencia desleal y la caída de las barreras comerciales. Estas y otras situaciones incrementaron la intensidad de la competencia y redujeron la rentabilidad de producir estos cultivos en México, incrementando así la dependencia mexicana hacia las importaciones de alimentos.

El IAA es una herramienta que permite dimensionar en qué medida un país es autosuficiente para solventar su consumo de un cierto bien. Pare el caso de los productos estratégicos básicos en México el IAA revela contrastes importantes.

Los productos que mostraron los valores más altos del IAA, es decir, mayor autosuficiencia y menor dependencia hacia las importaciones, fueron el café, el frijol y el sorgo. Estos productos mostraron una autosuficiencia superior al 80 % durante la mayor parte del periodo estudiado. De estos, el café es el que muestra las condiciones más favorables, es decir, muestra

capacidad para abastecer al mercado nacional y exportar cantidades importantes de manera consistente en el tiempo.

Los productos más rezagados fueron la soya y el arroz con niveles de autosuficiencia inferiores al 25 % durante el periodo de estudio. De estos, la soya es el cultivo que muestra mayor dependencia hacia las importaciones y los valores más bajos del IAA. El resto de los productos estudiados muestra una dependencia hacia las importaciones moderada y cambiante en el tiempo, aunque algunos de ellos muestran condiciones preocupantes en las cuales la producción nacional baja y las importaciones crecen, tales como el cacao y el trigo.

Futuras líneas de investigación pueden abordar estos casos de manera pormenorizada, destacando los estímulos y subsidios que existen en la producción de cada uno de estos cultivos, y reflexionando sobre la manera en la que la competencia internacional ha comprometido su viabilidad en la producción nacional y su capacidad para abastecer el consumo de los mexicanos.

REFERENCIAS

Acosta Reveles, IL, (2006). Balance del modelo agroexportador en América Latina al comenzar el siglo XXI. *Mundo Agrario, 7*(13), 1-26. https://www.redalyc.org/pdf/845/84501301.pdf

Ayala, A., Sangerman, D., Schwentesius, R., Almaguer, G. y Jolalpa, L. (2011). Determinación de la competitividad del sector agropecuario en México, 1980-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2*(4), 501-514.

Baer, A. y Sadowski, A. (2019). Food security and food self-sufficiency around the world: A typology of countries. *Plos One, 14*(3), 1-19.

Borja, M. y García, J. (2022). El programa de Fertilizantes para el Bienestar y el mercado del frijol en México. *Agronomía Mesoamericana, 33*(2), 1-12.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019) *Criterios para seleccionar los productos básicos y estratégicos del sector rural en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable*, Ciudad de México, Cámara de Diputados.

Cotler, H., Corona, J. y Galeana, J. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, (101),1-14.

Cruz, K., Valdivia, R., Martínez, M., Contreras, J. (2021). Autosuficiencia alimentaria en México: precios de garantía versus pagos directos al productor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12*(6), 981-990.

Escalante, R. y González, F. (2018) El TLCAN en la agricultura de México: 23 años de malos tratos. *Ola Financiera, 11*(29), 85-104.

Espinosa, L. y Zubirán, S. (2022). Hegemonía de Estados Unidos en el orden agroalimentario mundial y la pérdida de la autosuficiencia alimentaria de México. *Ciencia Ergo-sum Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 29*(1), 1-12.

Favila, A. y Herrera, M. (2023). Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *RECAI. Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática, 12*(35), 18-31.

Ireta, A., Altamirano, J., Ayala, A. y Covarrubias, I. (2015). Análisis macroeconómico y microeconómico de la competitividad del arroz en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo, 12*(4), 499-514.

Martínez, L. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas del Desarrollo, 47*(186), 107-132.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (29 de julio del 2022). *FAOSTAT, datos sobre alimentación y agricultura, base de datos*, https://www.fao.org/faostat/es/#home.

Pérez, O. (2020). La competitividad y la seguridad alimentaria en México. *Economía Coyuntural,* (5), N.º 1, pp. 119-142.

Rivera, A., Ortiz, R. y Santoyo, D. (2021). Los financiamientos y subsidios a la producción agropecuaria en México y su impacto en la falta de autosuficiencia alimentaria. *Estudios Rurales, 11*(24), 2-16.

Rivera, A., Ortiz, R., Araujo, L., Amílcar, J. (2014). México y la autosuficiencia alimentaria (sexenio 2006-2012). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 15*(1), 33-49.

Ruiz, E. (8 de agosto de 2021). México nunca alcanzará la autosuficiencia alimentaria. *El Economista*. https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Mexico-nunca-alcanzara-la-autosuficiencia-alimentaria-20210808-0083.html

Schwentesius, R. y Gómez, M. (Octubre,1999). El TLCAN y la competitividad de la agricultura mexicana. El caso del arroz. *Comercio Exterior,* 911-920.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (14 de septiembre del 2017). https://www.gob.mx/agricultura/documentos/fichas-126820

Soria, G., Palacio, V. y Trujillo, L. (2015). Redes de colaboración solidaria para la autosuficiencia alimentaria: propuesta para la población rural. *Estudios Sociales*, (46), 243-270.

Torres, F. y Rojas, A. (2020). Seguridad alimentaria y sus desequilibrios regionales en México. *Problemas del Desarrollo, 51*(201), 57-83.

Velázquez, A., Martínez, E. y Martínez, A. (2020). El carácter agroexportador de frutas y hortalizas: el caso del aguacate mexicano ante la apertura comercial y TLCAN, en Martínez, F. y Herrera, F. *Aprendizajes y Trayectorias del Sector Agroalimentario Mexicano durante el TLCAN*, Universidad Autónoma del Estado de México e IICA.

Recepción: **Septiembre 16, 2022** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Turismo de naturaleza y producción del espacio. Estudio de caso en una comunidad indígena de la región de los Altos de Chiapas.

Nature tourism and space production. Case study in an indigenous community in the region of los Altos de Chiapas.

—

Fátima Edith Oseguera Arias[1]
fatedi_edi@hotmail.com

Julio César Sánchez Morales[2]
jcsm231@hotmail.com

Armando Hernández de La Cruz[3]
ahernan@ecosur.mx

1 Universidad Intercultural de Chiapas, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

2 Centro de estudios Superiores de México y Centroamérica, CESMECA, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

3 El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México

Para citar este artículo:
Oseguera Arias, F. E., Sánchez Morales, J. C., & Hernández de La Cruz, A. Turismo de naturaleza y producción del espacio. Estudio de caso en una Comunidad Indígena de la Región de los Altos de Chiapas. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a04

RESUMEN

Este artículo analiza la producción del espacio turístico en la comunidad Río Arcotete del municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Se muestra el proceso mediante el cual los gobiernos federal y estatal de Chiapas han creado las condiciones para que una comunidad indígena que adolece de una crisis agrícola y con una pluriactividad acentuada se involucre en los servicios turísticos. Los resultados muestran que bajo las condiciones que impone el mercado turístico, los indígenas se han apropiado de esta actividad productiva, lo cual ha generado una dinámica de cambios intracomunitarios que fortalecen sus ingresos, pero a condición de una dependencia cada vez mayor del turismo. El reto que ahora tiene la población originaria es cumplir con las circunstancias que el mercado implanta, lo cual la debilita y genera una lenta maduración del destino turístico. La investigación es cualitativa basada en fuentes primarias y trabajo de campo.

Palabras Clave:

Gubernamentalidad; espacio turístico; turismo de naturaleza; organización comunitaria.

— Abstract—

This article analyzes the production of the tourist space in the Río Arcotete community of the municipality of San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. The process by which the federal and state governments of Chiapas have created the conditions for an indigenous community that suffers from an agricultural crisis and with accentuated pluriactivity to become involved in tourist services is shown. Under the conditions imposed by the tourism market, the indigenous have appropriated this productive activity, which has generated a dynamic of intra-community changes that strengthen their income, but on the condition of an increasing dependence on tourism. The challenge that the native population now faces is to comply with the circumstances that the market establishes, which weakens it and generates a slow maturation of the tourist destination. The research is qualitative based on primary sources and field work.

Keywords:

Governmentality; tourist space; nature tourism; community organization; Río Arcotete; Chiapas.

Existen estudios acerca de zonas rurales de Chiapas que destacan la dinámica de cambios y transformaciones entre los campesinos e indígenas con la puesta en marcha de proyectos turísticos (Sánchez, 2011; Oseguera, 2014). Un aspecto importante que señalan es la implementación de la política turística en el sector rural la cual no ha tenido los efectos deseados debido a factores coyunturales que imposibilitan su maduración en el largo plazo (Sánchez, 2011; Oseguera, 2014). El desfase entre la política turística y los proyectos campesinos genera un lento desarrollo económico. Esto no logra beneficiar de la mejor manera a la población receptora de turismo y mitigar las condiciones de pobreza y rezago (Villafuerte, 2015).

Aunque Chiapas tiene una alta biodiversidad en recursos naturales que justifica su potencial turístico de naturaleza, no ha logrado consolidar un mercado de servicios de calidad en este sector. Los retos a superar son las debilidades endógenas que subsisten en el mercado de servicios turísticos locales. Es decir, Chiapas, al ubicarse como uno de los estados de mayor pobreza en México, no logra superar las dificultades endémicas del sector rural como son la pobreza, la marginación, la falta de servicios públicos y la infraestructura carretera.

De acuerdo con las cifras censales del 2010 (INEGI, 2011) la población rural alcanzó 2 460 645 habitantes, quienes habitaban en localidades menores de 2500 pobladores y que, si se amplía a menores de 5000 residentes, sería el 60 % de Chiapas. En el 2015 el total de la población en Chiapas fue de 5 217 908; es decir, el 4.4 % de la población nacional. En el 2020 el total de la población es de 5 543 828, con 20 951 localidades rurales y 206 urbanas (INEGI. Censo de Población y Vivienda 2020). El 51 % equivale a localidades rurales; y el 49 %, a urbanas. Dicho de otra manera, más de la mitad de los habitantes viven en zonas rurales, por tanto, se agrava su vulnerabilidad socioeconómica. Por último, en el 2018, el 76.4 % de los residentes de la entidad vivía en situación de pobreza, que equivalente a 4 174 600 personas (CONEVAL, 2020). En términos generales, el 94.0 % tiene una situación de pobreza y vulnerabilidad por carencias e ingresos (CONEVAL, 2020). Estos elementos contribuyen a un escenario de pobreza crítica en Chiapas. Estas cifras, además, muestran una radiografía que no aporta a una reconfiguración positiva de proyectos sólidos en el sector rural. Por el contrario, se acumulan los problemas que difícilmente coadyuvan a que los programas se consoliden en el mediano plazo.

Las dificultades que enfrentan los campesinos e indígenas de Chiapas al insertarse en el mercado de servicios turísticos drásticamente los ubica en una realidad que no superan: falta de capital, falta de infraestructura carretera, problemas en la generación de capital social, en la capacidad de agencia para el turismo y, sobre todo, el acompañamiento del gobierno en los procesos de construcción de los destinos turísticos en sus territorios.

En el estudio aquí presentado, en la comunidad Río Arcotete del municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, la creación del espacio turístico es resultado de la intervención del gobierno del estado y actores importantes, como empresarios y sociedad civil. Esta mediación trastocó las condiciones de vida de los indígenas y la manera en cómo habitan su espacio. No obstante, la participación de la comunidad fue de vital importancia para la concreción del proyecto.

La importancia del análisis en este estudio reside en comprender cómo se logró crear el espacio turístico en Río Arcotete y los factores que contribuyeron en ello. Para explicar esta problemática nos basamos en la reflexión teórica de Michel Foucault (2004) sobre la gubernamentalidad, así como la noción de construcción del espacio de Henri Lefebvre (2013). Ambas propuestas contribuyen a la discusión contemporánea del turismo en el nuevo/viejo contexto rural chiapaneco. En este sentido, se considera que el turismo de naturaleza en Río Arcotete es una tecnología de gobierno que no solo genera cambios territoriales, sino que normaliza prácticas entre los sujetos y un imaginario social hacia la conservación ambiental. Además, dicha actividad económica contribuye a largo plazo a la pluriactividad productiva entre la población.

En cuanto a la estructura de este artículo, se presenta ocho apartados a través de los cuales se destaca el análisis de la gubernamentalidad y la construcción del espacio turístico a partir de la justificación de "naturaleza" como mercancía. Posteriormente, se refiere al método de investigación utilizado y al tema central de la investigación acerca de la relación de la comunidad Río Arcotete con el Estado y los factores que contribuyeron en la creación de un espacio de valor turístico. Por último, se reflexiona en la importancia del proceso, la participación de actores locales y el gobierno para generar un destino de turismo de naturaleza en el territorio indígena, el cual trajo consigo nuevas condiciones de vida en la comunidad.

La gubernamentalidad y la construcción del espacio turístico

La gubernamentalidad se erige como una categoría que define dos aspectos importantes. En primer lugar, los proyectos de gobierno, cuyo fin es normalizar prácticas entre los sujetos y tecnologías para mantener un régimen de producción de verdad (Foucault, 2004). En segundo lugar, producir un orden social y espacial. Este orden se refiere a la noción de espacio como la integralidad multidimensional, en tanto espacio social que involucra los diversos procesos y elementos de las relaciones sociales (Lefebvre, 2013). Por ello, la construcción del espacio estimula las relaciones de poder, pues tienen en él un vehículo de naturalización del proceso de dominación.

El espacio no es ajeno a las contradicciones subyacentes que la misma naturaleza de la disputa genera en la definición, uso y control entre los actores involucrados. Para Lefebvre (2013), "el espacio (social) es un producto (social)" de las relaciones sociales que tienen lugar en este a través de un proceso histórico.

La relación entre las tecnologías de gobierno, entendidas como procedimientos a través de los cuales las relaciones de poder se articulan en determinadas sociedades, y la construcción del espacio, deriva de la consideración de que el espacio social es un espacio transformado, real y de prácticas sociales. Una sociedad que genera prácticas produce constantemente el espacio desde una dimensión temporal e histórica (Lefebvre, 2013). En este proceso el papel de los agentes y actores conduce a la reconfiguración territorial en relación con otras transformaciones globales y locales, situando y posicionando, al mismo tiempo, a los agentes y fases en una escala temporal de mediana o larga duración histórica (Braudel, 1974). Para Milton Santos (2000), el espacio es una realidad relacional. Es el conjunto indisoluble de sistemas de objetos y de acciones en el que confluyen el paisaje, la configuración territorial y la división territorial del trabajo. Estos elementos dependen de la capacidad para sostener procesos locales y globales según su propia funcionalidad y dialéctica. El espacio es una parte de la totalidad social que abarca el aspecto económico e ideológico-cultural. Implica relaciones de coexistencia, vínculos y relaciones e interacciones que llevan a la construcción, transformación, percepción y representación de una realidad.

Ante la construcción del espacio, la subjetividad (del actor/agente) se constituye desde la técnica y prácticas que el sujeto aplica para sí mismo. Este mecanismo de control subjetivo hace que los sujetos naturalicen un régimen de producción de verdad como un campo de posibilidades para las libertades individuales.

En este contexto, el Estado es un actor que funge como rector en relación con diferentes objetivos para producir y gobernar a los sujetos en espacios construidos bajo un "régimen de verdad". Por ello, se agrega el nacimiento de discursos homogeneizantes (como dispositivos de gobierno) que reconfiguran violentamente el espacio natural y social e inauguran una nueva geografía económica, que en casos como el analizado es deviene en una geografía turística. Esta última no solo depende del Estado, sino también de otros actores (empresas) para facilitar la apertura de nuevos espacios de inversión (de capital), procesos y creación de nuevas naturalezas para el mercado del ocio. En términos de Michel Foucault (2004), esta articulación configura una sociedad mediada por la producción de regímenes específicos de "verdad". De esta manera, el Estado es creador de espacio y de condiciones

políticas para que los agentes internos o externos actúen con libertad, siempre y cuando esta coincida con los intereses económicos o de poder político.

Es importante puntualizar que el gobierno no es la imposición directa de la norma o de la ley, sino es el logro consuetudinario de la concertación de voluntades entre gobernantes y gobernados (Foucault, 2004). Por ello, la construcción de un espacio turístico obedece a un régimen que establece las bases, las reglas y las relaciones del juego donde las acciones de los agentes libres tienen lugar, así como la provisión de los aparatos ideológicos para que se alcance una meta. En general, el objetivo es la normalización y naturalización en las poblaciones desde los dispositivos de control, lo cual permite producir en sociedades avanzadas, lo que David Harvey (2001) ha llamado "espacios de capital".

Este proceso se convierte en la esfera de prácticas y discursos para los sectores productivos en espacios producidos. Además, genera un proceso de coordinación de actores, de grupos sociales e instituciones para lograr metas definidas colectivamente en entornos fragmentados y caracterizados por la incertidumbre (Ruano de la Fuente, 2002). Las experiencias locales han redundado en un aprovechamiento de sus recursos naturales, como mercancías, pero con el matiz de una nueva realidad socio-territorial que emerge con la producción del espacio turístico contemporáneo, como se muestra a continuación.

METODOLOGÍA

Esta investigación es cualitativa basada en una revisión amplia de la literatura escrita sobre la problemática planteada, trabajo de campo en las comunidades de estudio en julio de 2018 y de febrero a octubre de 2019 en el cual se aplicó participación pasiva, moderada y activa (Vallés, 1997) y 15 entrevistas semiestructuradas a distintos actores relevantes en los procesos estudiados. Para tener un panorama más preciso se hicieron entrevistas a empresarios y a empleados del sector turístico, periodistas, académicos de instituciones educativas locales, funcionarios de la Secretaría de Turismo de Chiapas, guías turísticos y turistas, tanto nacionales como extranjeros. Asimismo, se aplicó un muestreo de bola de nieve durante las estancias de 2018 y 2019. Este método posibilitó adentrarse con los principales actores locales y regionales tanto de San Cristóbal de Las Casas como de la comunidad Río Arcotete. De esta manera, se lograron resultados positivos al tener un cúmulo de datos empíricos para destacar la línea del tiempo del turismo en San Cristóbal de Las Casas, y Chiapas, en general. No obstante, es importante destacar que la información obtenida fue triangulada con otras fuentes, tales como informes y datos estadísticos generados por instituciones oficiales

como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría de Turismo (SECTUR) con la finalidad de tener una correcta comparación en los datos obtenidos.

Ubicación geográfica del lugar de estudio

El ejido Río Arcotete se ubica en el municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas (Figura 1). Se localiza a 4 kilómetros del noroeste de la traza urbana de la ciudad (Montoya y Hernández, 2013). En la memoria de los campesinos se sostiene que el ejido fue fundado por 45 personas provenientes de otras comunidades aledañas al municipio como El Aguaje, Agua de Pajarito, Carmen Arcotete, Las Ollas y Yut-osil II. Estas dos últimas corresponden al municipio de San Juan Chamula (Trabajo de campo, 2019). Muchos indígenas fueron expulsados o desplazados por haber contrariado la profesión religiosa y políticas "tradicionales" en sus comunidades. Particularmente, en Chamula se expulsaron a miles de indígenas por problemas religiosos y agrarios (Cortéz y Velasco, 2012) y el punto más cercano de refugio y asentamiento para la población desplazada fue San Cristóbal de Las Casas.

Nota. Tomada de Google Earth.

Figura 1. Ubicación geográfica de Río Arcotete

La fundación del ejido Río Arcotete se dio en tierras de propiedad privada. La tensión que se vivió a principios de los noventa del siglo XX por el conflicto armado del EZLN trajo como demanda la apropiación de tierras por grupos organizados. La comunidad se sumó a este reclamo y los indígenas decidieron gestionar la creación del ejido. Este grupo asentado en la periferia de San Cristóbal de Las Casas tenía el objetivo de obtener tierras

y quería llegar a un acuerdo con los dueños de las propiedades habitadas. Ante la problemática generalizada en la región Altos de Chiapas, debida a las expulsiones, migraciones y apropiación ilegal de predios, el gobierno federal decidió comprar tierras y darlas a los grupos organizados. En Río Arcotete, tras gestiones, lograron este beneficio. Por consiguiente, se pagó a los propietarios de tierras invadidas y los indígenas dieron paso para legalizar su nuevo espacio. En el 2001 se fundó el ejido Río Arcotete[1] con 300 hectáreas de terreno (RAN, 2013). La compra fue financiada por el gobierno federal a través del Banco de Crédito Rural del Istmo. El total de la población fue de 120 familias que luego de ya establecidas se dedicaron a la milpa, al pastoreo de ovejas, la siembra de hortalizas, la extracción de madera para leña o para uso doméstico y la producción de carbón y plantas ornamentales.

El rol del gobierno en la construcción de espacios turísticos

Desde la década de los 80 del siglo XX en México la política neoliberal acentuó las desigualdades y propició el desmantelamiento de aparatos de gobierno que coadyuvaban a incentivar al campesinado en sus labores agrícolas. Esta política consistió en dejar al mercado la determinación de los precios de los bienes agropecuarios y la fijación de subsidios y apoyos agrícolas en función de la productividad[2] (Huerta, 2003). La profunda crisis agrícola, el déficit comercial, el endeudamiento público y privado, la disminución del gasto público y la privatización de empresas públicas, entre otros aspectos, generaron más pobreza en la mayoría de la población (Gil-Méndez, 2015). El grueso de estos pobladores ahora se encontraba en el sector rural y haciendo con ello las condiciones de vida más difíciles.

En la escala regional se hizo más crónica la agonía del sector campesino. En Chiapas los cambios de la política agropecuaria desencadenaron transformaciones en los estilos de vida que repercutirían en el desplazamiento de miles de agricultores hacia los polos de desarrollo económico. De esa manera se acentuó una crisis del sector agropecuario y un déficit en la producción (Villafuerte Solís, 2015). La caída de los precios de los granos y el desmantelamiento de instituciones que garantizaban el subsidio al sector rural propiciaron una relativa orfandad del campesinado.

1 El Arcotete debe su nombre al soldado francés Jean Francoise D' Arcotete, quien murió en el lugar por "amor a una joven sancristobalense" en tiempos de la Colonia, esto de acuerdo a la leyenda que se tiene muy presente en San Cristóbal de Las Casas (González, 2022).

2 En México, los subsidios a los campesinos y minifundistas no se fijan en función de la productividad, sino que se orientan al apoyo directo (por hectárea) independientemente del nivel de productividad. Un ejemplo fue el Programa de apoyos directos al campo (PROCAMPO) en el sexenio 2012-2018.

Coincidentemente, el cambio de modelo económico (de bienestar a neoliberal) impulsa el turismo de naturaleza[3] como un dispositivo de desarrollo económico, de conservación medioambiental y de mitigación de la pobreza (Sandoval, 2006). El turismo de naturaleza se plantea como un proyecto generador de cambios económicos a largo plazo. Además, se considera como una modalidad turística que plantea una interrelación más estrecha con la naturaleza, preocupada en la conservación de los recursos naturales y sociales del área en que se efectúa la actividad turística (Miroglio, 2017). Debido a las coyunturas nacionales, Chiapas consolidó el turismo de naturaleza en el sector rural planteándolo como un componente para el desarrollo económico y territorial.

El Estado fue la pieza para crear una geografía turística y un mercado del ocio en Chiapas. La construcción de espacios turísticos estaba en la lógica de generar una espacialidad del turismo como componente de vitalidad de la economía campesina. Esto generó la implementación de mecanismos económicos que abonaron a una economía de mercado donde el turismo sería el componente productivo de mayor relevancia. No era para menos, a escala nacional, en la primera década del siglo XXI, el valor anual del mercado formal de actividades turísticas vinculadas con la naturaleza superaba los 750 millones de pesos. El gasto de turistas internacionales representó un 64.2 % del total, esto es, 486 millones de pesos, mientras que el gasto de los nacionales fue de 35.8 %, esto es, 271 millones de pesos (SECTUR, 2006). Esta escalada del capital obligó a una reestructuración del esquema de planificación en las instancias de gobierno encargadas de promocionar destinos turísticos.

La participación del gobierno se expresó en el objetivo en común del mercado: normalizar la práctica del turismo de naturaleza entre los campesinos de Chiapas[4]. Muchas de las experiencias que nacieron desde

3 En el ámbito internacional el discurso favorece la adopción de un turismo verde consistente en equilibrar lo social, económico y ecológico frente a uno convencional de masas. El turismo adquiere varios adjetivos, pero sigue siendo la industria que ahora busca segmentos de mercado en los reservorios naturales y los enclaves de atracción turística. El alegato de la sustentabilidad favoreció su apropiación en los sectores políticos, empresariales y académicos.

4 Los datos señalan que después del año 2000 se registró un giro sobresaliente en los centros tradicionales de mayor concurrencia turística. Por ejemplo, Tuxtla Gutiérrez con 1, 780,040 turistas; Tapachula con 788, 268; San Cristóbal de Las Casas con 1, 394, 363; Palenque con 1, 019, 621; Comitán con 459,267 y Chiapa de Corzo con 426, 293. Actualmente el turismo en Chiapas tiene importancia en números. De esta manera la entidad recibió alrededor de 7, 722, 289 visitantes, lo que representa mayor afluencia con respecto al mismo año 2018 (6, 620, 042) (Secretaría de Turismo, 2019). La derrama económica acumulada en el año 2019 fue de $23, 908 000.00, incrementándose en comparación con la del año 2018 ($21, 607, 000.00). Y la ocupación hotelera promedio acumulada fue de un 42%, porcentaje mayor al del año 2018 (41%) (Secretaría de Turismo, 2019). Por su parte, los centros ecoturísticos para el año 2016, de acuerdo con la Secretaría de Turismo, alcanzaron la cantidad de 90 en todo el estado, de los cuales 55 ofertaba servicios (López, Mazariegos y Milla, 2016). Estos datos representan la importancia de la globalidad del turismo y sus consecuencias prácticas en los territorios de Chiapas.

la década de los noventa fueron de microempresas rurales enfocadas al ecoturismo. En cada caso los aparatos de gobierno como la Secretaría de Turismo (SECTUR), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión Nacional para el Desarrollo de Pueblos Indígenas (CDI), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Fondo Nacional de Fomento al Turismo (FONATUR), el Consejo de Promoción Turística de México (CPTM) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) han sido claves para el impulso[5] de proyectos de turismo de naturaleza, lo cual se concretó con propuestas de inversión y desarrollo de infraestructura turística. Además, el fortalecimiento del componente "naturaleza" fue un síntoma del nuevo orden económico que estaba imponiendo el mercado turístico. Al mercado de consumo de "lo indígena", "lo cultural" y "lo natural" se sumaba en la década de los 90 la implementación del turismo de naturaleza en México. Asimismo, la conservación ambiental y el desarrollo sustentable en el ámbito internacional y nacional eran dos categorías que obligaban al cambio en la política pública.

Debido a las coyunturas sociales, económicas y políticas que se venían arrastrando desde la década de los 90 del siglo XX en el sector campesino e indígena, el gobierno de Chiapas propició una estrategia de transformación socioproductiva, consistente en impulsar propuesta de negocios enfocados al comercio y venta de servicios, con el objetivo de diversificar ingresos entre el sector rural. La crisis, en parte por el pobre desempeño de la economía chiapaneca aunado a una mala distribución del ingreso, justificaba y obligaba a estos cambios. Por ejemplo, entre 1990 y 2000, el 74.5 % de la población obtuvo menos de un salario mínimo, situación que reflejaba claramente las condiciones de pobreza que vivía la mayoría de los chiapanecos (Villafuerte Solís, 2015). Este escenario propició que los proyectos impulsados por el gobierno se adoptaran sin mayor problema.

En el discurso oficial, la actividad turística ahora se presentaba como una opción económica para subsanar las condiciones de pobreza y marginación en Chiapas (Mendiguchía, 2005). Sin embargo, las condiciones estructurales de pobreza y marginación de la población campesina paradójicamente impedían

5 En el 2006 se registró en México un total de 1 239 empresas y proyectos orientados a ofrecer servicios de turismo de naturaleza. El 70 % eran empresas en operación y el 30 % correspondía a iniciativas en desarrollo. El 74 % fueron de tipo comunitario o social, integradas, principalmente, por grupos rurales o indígenas, y el 26 % eran privadas. Para el 2016 estas se redujeron a 1 186 que ofrecían turismo de naturaleza (SEMARNAT, 2022). Este cambio económico repercutió en nuevas territorialidades y, además, dio una muestra de la importancia del Estado al propiciar las condiciones para el impulso al turístico de naturaleza.

el desarrollo de los proyectos. No obstante, la ruta ya se venía impulsando por varias décadas. Los antecedentes de inversión en materia turística datan de 1988 con la llamada "modernización carretera". La implementación de 11 583 kilómetros de los cuales el 6.3 % eran terracería, el 69.9 % revestidos y el 23.8 % pavimento, dieron paso a que en 1994 el Banco de Comercio Interior invirtiera en centros turísticos, centros de diversión, comercios y abasto en general (Vázquez, 2019). La función de los gobiernos federal y estatal fue "facilitar" la construcción de espacios turísticos para darles valor económico a las regiones de Chiapas.

La condición de coyuntura y el "zapatour"

En la década de los 90 del siglo XX, los cambios políticos en Chiapas obligaron a implementar programas de apoyo económico al campesinado. El nacimiento del movimiento político Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN), en varias regiones indígenas con graves problemas de pobreza material, cuestionó las estructuras del Estado mexicano (Solís y Aguilar, 2021). El EZLN, que coincide con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), marcó una ruta obligada para realizar proyectos de desarrollo socioeconómico por parte del gobierno federal y estatal.

Esta coyuntura en la que se identificaba a Chiapas solo por el conflicto armado fue aprovechada por el gobierno del Estado. A finales de los 90 y principios del 2000 se vendía a Chiapas como destino de naturaleza. El objetivo era minimizar la imagen negativa de un Chiapas "pobre y en abandono", tal como lo había difundido el EZLN. La llegada de un tipo de turista politizado (Coronado, 2008) que le interesaba observar la marginación y pobreza, paradójicamente propició condiciones de mercado en el consumo del turismo: hospedaje, transporte y comida.

Después del llamado "zapatour", que consistió en que la gente visitaba Chiapas con fines de conocer a los zapatistas por todo lo que se divulgó en torno a los pueblos indígenas en rebeldía, el gobierno del Estado aprovechó esa imagen de los grupos nativos para promover los recursos naturales y la cultura de Chiapas. De esta forma "lo indígena" y "lo cultural" fueron usados por las empresas turísticas y el gobierno estatal como una mercancía para ofertarla en el mercado turístico. El objetivo fue fomentar una imagen de Chiapas como destino de naturaleza y bajo el resguardo de "los ancestrales" pueblos campesinos e indígenas. A través de todo un marketing, los espacios rurales, que solo figuraban en el imaginario y la literatura de "rescate" antropológica como sociedades estáticas y sin cambios de profundidad histórica (Trench, 2005), se reconfiguraron hacia el turismo de naturaleza y el turismo cultural.

De acuerdo con el gobierno de Chiapas, la modernización turística de las regiones llegaría a través de la promoción de la belleza cultural y artística de los pueblos originarios. La nueva geografía turística daría paso a proyectos e iniciativas locales de turismo en el sector campesino e indígena. Muchos de ellos obtendrían recursos por parte de los gobiernos federal y estatal y se daría paso a nuevas microempresas sociales, familiares, empresariales, comunitarias o individuales. Así fue como nacieron nuevos centros turísticos en varias regiones del estado como en la Meseta Comiteca Tojolabal: Causas verdes, UNINAJAB, Gallo Giro, Mam Tziscao; en el Soconusco: Mariposas Alas de agua, Barra de Zacapulco, La Palma, Volcán del Tacaná, La Ruta del Café en las fincas Argovia, Liquidámbar, Hamburgo y La Casa Grande en Unión Juárez; en el Istmo-costa: El Castaño, Mapastepec, Cabeza de Toro y Madresal en Tonalá; en la región Altos Tsotsil-Tseltal: El Corralito, Oxchuc, Rancho Nuevo, Las Grutas del Mamut en la comunidad Agua de Pajarito, El Arcotete y la comunidad Arcotete en San Cristóbal de Las Casas; y en los valles Zoque: Sima de las Cotorras en Ocozocoautla.

En general, en solo tres décadas la geografía turística de Chiapas dio saltos cualitativos en el desarrollo de espacios turísticos en el sector campesino e indígena. El caso analizado en esta investigación, Río Arcotete del municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, se ubica en este contexto de cambios y transformaciones. Con la cobertura del gobierno y otros actores importantes se desarrollará como destino primordial de turismo, como veremos más adelante.

La construcción del espacio turístico en Río Arcotete

El ejido Río Arcotete nació en el 2001 y se consolidó como un proyecto de turismo de naturaleza en el 2008. Es un área ubicada en una zona cuyos recursos naturales existentes son el arco de piedra caliza que es atravesado por el río Fogótico, un bosque de pino-encino, una afluente de agua y cuevas que —a decir de los habitantes de la zona— tienen una larga tradición en el culto a los "espíritus" (Trabajo de campo, junio 2019). Estos recursos se consideran bienes potenciales para un sector de turistas que buscan la recreación y contemplación estética de la naturaleza. Aunque la propuesta de turismo se plantea como una iniciativa local y colectiva que nació de los propios indígenas de Río Arcotete (Picado, 2014; Montoya y Hernández, 2013), lo que se observó en diálogo con los habitantes es que el contexto de vulnerabilidad social y económica por la situación de crisis del campo y sus condiciones de subsistencia obligaron a buscar nuevas opciones productivas a principios del 2000 entre estas opciones el turismo.

Lo anterior fue importante, en el escenario regional la crisis en el campo que se venía arrastrando por décadas también afectó a los indígenas. Con

el cambio de la política agrícola, la falta de subsidio para agroquímicos y el poco respaldo que tenían del gobierno agudizó sus condiciones de vida. Los cambios que se habían originado los obligaban a buscar otras actividades económicas, pues el rendimiento que obtenían de sus tierras cubría lo básico de sus necesidades alimentarias. No había un excedente para comercializar, como ellos mismos lo señalan:

> Nosotros, cuando llegamos a vivir por esta parte y cuando ya legalizamos estas porciones de tierra, ya teníamos problemas con el hacer producir la tierra. El gobierno no nos apoyaba para fertilizante o granos o la compra. Lo poco que producíamos servía para comer nada más. Sí había apoyo de otras cosas, pero para la tierra o para la compra de animales no, pues nos decía que sí pero nunca nos dieron. Nos vimos obligados de buscar trabajo [...] por ahí supimos que el nuevo gobierno apoyaría para crear centros turísticos y como teníamos algunos conocidos, pues con los años logramos empezar en el turismo, aunque muchos compañeros no estaban convencidos, pero se logró después de varios años de trabajo (Pedro Gómez, comunicación personal, febrero 2018).

Esta respuesta es la evidencia de la falta de apoyo y seguimiento por parte de las instituciones gubernamentales en el rubro agropecuario. Por consiguiente, los indígenas buscaron ingresos en otras actividades productivas.

Las políticas públicas estaban dadas: se venía impulsando desde el régimen el desarrollo de destinos turísticos. El gobierno estatal necesitaba justificar su intervención y coadyuvar a fortalecer el Programa de Pueblos Mágicos, pues San Cristóbal de Las Casas había adquirido esta distinción y Río Arcotete pertenecía a este municipio. Además, el descontento campesino e indígena, venido desde la década de los 90 con el levantamiento armado del EZLN, propiciaba un ambiente para que algunos empresarios, en unidad con los indígenas, manifestaran su interés en abrir espacios para el negocio del turismo de naturaleza. Otro aspecto importante fue que los naturales de Río Arcotete lograron gestionar la creación del centro turístico.

El 90 % de los indígenas entrevistados de Río Arcotete recuerda que la producción de bienes para autoconsumo no lograba satisfacer sus necesidades. En efecto, debido a la falta de subsidio para el campo y el bajo rendimiento del cultivo del maíz —escasos 600 kilos al año— muchos de ellos tuvieron que trabajar en otras actividades productivas. Una fracción de la población de Río Arcotete migró a la ciudad de San Cristóbal de Las Casas en busca de ingresos y otra hacia centros receptores de mano de obra barata como Cancún, Distrito Federal y Puerto Vallarta. Quienes se quedaron en su lugar de residencia trabajaron en el comercio de leña a los negocios de venta de pollos a la leña, o bien, a la población extranjera que gustaba de utilizar chimeneas en San Cristóbal de Las Casas (Juan Hernández, comunicación personal, 2021).

Bajo las condiciones que experimentaron, a este sector de la población no le fue difícil adaptarse socialmente al turismo. El 80 % de los indígenas entrevistados no dudaron en afirmar que uno de los objetivos de impulsar el turismo en su territorio fue la búsqueda de ingresos y bienestar en sus familias (Juan Hernández, comunicación personal, 2021). Otras actividades a las que ahora se dedican lo naturales son la siembra de habas, papas y chilacayotes para luego venderlos en el mercado José Castillo Tielemans de San Cristóbal de Las Casas.

Un factor importante que influyó en la creación del espacio turístico fue el incremento del flujo de turistas en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas. Primero, por la curiosidad de conocer a los pueblos indígenas que fueron "protagonistas del movimiento armado"[6]; y segundo, por el resultado de la difusión a nivel nacional e internacional de esta ciudad como Pueblo Mágico (SECTUR, 2014). Esto último trajo como resultado la celebración del concurso Miss Universo 2007, el Festival de las Culturas 2009, Nuestra Belleza México y el Festival Internacional de Turismo de Aventura, de los eventos nacionales e internacionales más importantes. Estos programas propiciaron un interés en el empresariado local (hoteleros, restauranteros, operadores turísticos) y favorecieron un acuerdo con los indígenas para replantear un destino turístico en la comunidad Río Arcotete.

La comunidad Río Arcotete se ubica a 4 kilómetros de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas. La cercanía entre ella y esta ciudad generó una ruta turística. Además, la belleza del lugar ha sido el pretexto para el descanso de una clase social que gusta del ocio (profesionistas, médicos, maestros y microempresarios) (Hernández, comunicación personal, 2020). La inversión en este proyecto turístico fue por parte del gobierno estatal, y el sector empresarial contribuyó a darle promoción. El Comité de Cuenca del Valle de Jovel, conformado por miembros de sociedades civiles, también ha participado en programas de reforestación y conservación de la biodiversidad en territorios de poblaciones indígenas. Estas acciones han creado expectativas para un nuevo centro turístico de naturaleza en la zona periurbana de San Cristóbal de Las Casas. De ser un terreno "baldío", pero privado y aprovechable solo para la agricultura, en pocos años se convirtió en un espacio para los turistas. Este ha sido el camino hacia la normalización del turismo en el contexto indígena de Río Arcotete.

6 Esto se ha mitificado, pues en realidad, de los 18 municipios indígenas de la región Altos, una fracción en el poblado de San Andrés Larraínzar participó en el movimiento armado. Sin embargo, se usa este discurso solo para fines turísticos.

La afluencia de turistas a San Cristóbal de Las Casas[7] cambió la fisonomía de la ciudad. Este fenómeno trajo consigo el aumento de establecimientos para hospedajes, restaurantes, bares y tiendas, así como el acondicionamiento del Centro Histórico (Hernández y Fenner, 2018). Estas circunstancias fueron aprovechadas por empresarios organizados conformados por hoteleros y prestadores de servicios turísticos bajo el Patronato Ecoturístico Arcotete, quienes solicitaron la creación de un parque ecoturístico en la comunidad Río Arcotete. Dicho proyecto planteó una inversión de $15 000 000 para la infraestructura. Los pobladores del ejido aceptaron la propuesta y contribuyeron en generar las condiciones y el financiamiento para dicha construcción en su territorio (RealEstate, Market and Lifestyke, 2010).

La alianza entre indígenas y empresarios locales dio buenos resultados. Prueba de ello es que en el 2014 se destinaron $27 000 000 por parte de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) y la Secretaría de Turismo (SECTUR) para capacitación y promoción del ecoturismo en comunidades indígenas. Esto fue como parte del Programa de Turismo Alternativo en Zonas Indígenas (PTAZI) (Secretaría de Turismo, 2014). Tal política social de los gobiernos federal y estatal de invertir en poblaciones vulnerables dio paso a la creación del Centro Turístico Arcotete, cuya aportación fue de $596 024. La ejecutora fue la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) del gobierno federal. Con este monto se construyeron andadores, palapas, escalinatas rústicas y baños. Esta etapa dio inicio a un nuevo destino turístico en la zona periurbana de San Cristóbal de Las Casas. En el corto plazo se convocó a otras instituciones como la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indios —anteriormente llamada CDI— para que aportara $1 407 971.55 (Montoya y Hernández, 2013). Esta cantidad sería destinada a fortalecer la infraestructura turística con estacionamiento, tirolesa, cabañas, caballos, rápel y más.

La creación de este espacio requirió que los ejidatarios cedieran 23 hectáreas exclusivamente para la demanda turística. Por otra parte, los gobiernos estatal y municipal se encargaron de crear las condiciones de mercado. Es decir, promoción, difusión, ruta y acompañamiento en capacitaciones y formación turística a través de una red de instituciones. Desde la fundación del Centro Ecoturístico Arcotete los indígenas han tenido alrededor de 20 cursos, talleres y capacitaciones en la atención al cliente, servicio de restaurante, gastronomía, cultura y guías de turismo, entre otros cono-

7 Esto se dio en años siguientes por la curiosidad de conocer la ciudad colonial de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, la insurrección del Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) y las disputas políticas, religiosas y territoriales en la región.

cimientos (Pérez, comunicación personal, junio 2021). Un avance en esta empresa turística fue la formalización de la Sociedad Cooperativa Indígena por 120 socios dueños del centro turístico. Esto se hizo para fines administrativos, jurídicos y operativos ante las instancias de gobierno. Hasta esta etapa el gobierno federal potencializó las condiciones para que se lograra la creación de un nuevo destino, como se consideraba el centro turístico Arcotete. En las entrevistas realizadas el 80 % de los socios reiteraron que los gobiernos federal y estatal les apoyaron para crear su centro ecoturístico, tal como se observa en la siguiente cita:

> Pues no se niega el apoyo de los empresarios y del gobierno, pues además nos han capacitado en muchas cosas. Desde que nos fundamos viene gente de universidades, centros de investigación, alumnos, turistas, profesores. No se niega pues el apoyo en turismo, aunque en lo del campo no se ha tenido ya más apoyo. Ahora, según la Secretaría de Turismo del ayuntamiento, nos dijo iba a capacitar, si queríamos, para manejar computadoras y que los jóvenes se metan al turismo, pero no lo hemos decidido en la asamblea (Hernández, comunicación personal, junio 2020).

Lo anterior muestra el avance significativo que han tenido como microempresa y la afluencia turística en la comunidad, por lo cual las instituciones buscan conocer la experiencia de los indígenas.

De agricultores a vendedores y consumidores

La pluriactividad es un rasgo en la actualidad. Hasta ahora, el 90 % de los habitantes de la comunidad Río Arcotete se dedican a varias actividades productivas. Sin embargo, la agricultura de subsistencia, particularmente la milpa y hortalizas, así como la ovinocultura y la ganadería de apersogue son labores menos desarrolladas. Rápidamente, los residentes de Río Arcotete han transitado del trabajo agropecuario al comercial y de servicios. La tradicional forma de organización familiar, concebida como una estructura donde los miembros cooperan en la economía doméstica, se ha trastocado. Así es cómo unos integrantes de la familia no cooperan, otros migran y ya no aportan económicamente. Sin embargo, quienes se quedan —que es la nueva composición laboral de las familias de la comunidad— obligan a ayudar a los demás (las mujeres, los niños, los jóvenes, los ancianos) para la economía doméstica. Ahora todos trabajan en el centro ecoturístico. Esto es parte de los cambios en el paisaje rural.

Por otra parte, en el año 2018 arribaron a la mencionada comunidad alrededor de 18, 000 turistas y con ello una derrama económica que incentivó el trabajo colectivo de la población indígena de Río Arcotete. La entrada al

parque turístico tiene un costo de $10.00, lo cual, en términos reales, les genera aproximadamente $180,000.00 de ingresos brutos anuales. A esto se agregan los servicios que ofertan en recorridos a las grutas ($10.00), paseo en lancha ($20.00), paseo a caballo ($30.00), tirolesa ($100.00), rápel ($150.00) y camping ($25.00), entre otros, lo cual hace que los ingresos por turismo aumenten (Notas de campo, 21 de septiembre 2021). Los ingresos, restando los costos de operación, les reditúan y entusiasma para dedicarse a la actividad turística. Por ello, los campesinos se asumen como servidores turísticos. Además de haber normalizado estas prácticas, ellos se asumen como guías de los visitantes (Artemio Girón, comunicación personal, junio 2019). Sin embargo, el turismo ha ganado terreno al desplazar lentamente a las otras actividades productivas.

El Centro Ecoturístico Río Arcotete es actualmente un lugar de esparcimiento para las familias de San Cristóbal de Las Casas y turistas. Con la incorporación de la actividad turística en la comunidad se han mejorado las condiciones en servicios básicos de infraestructura pública como carretera, luz eléctrica y agua potable. El tránsito del modelo agrícola productivo al sector terciario otorga una nueva funcionalidad al territorio y, a su vez, determina nuevos usos y aprovechamientos del suelo. La utilización del espacio para actividades especializadas como el turismo ha propiciado avances en la infraestructura, inversión y cambios en la estructura doméstica. Uno de estos últimos es el consumo de bienes que antes no tenían, como comida chatarra, bebidas alcohólicas y autos. Entonces, los pobladores de Río Arcotete pasaron de trabajadores agrícolas a consumidores y autoempleados.

En el discurso, la población de esta comunidad acepta el reto de verse como empresaria del turismo de naturaleza, aunque en el fondo sus prácticas no ayudan, pues la deforestación sigue su paso. Algunos campesinos se dedican a la tala de árboles para obtener leña que es vendida en San Cristóbal de Las Casas. Esto es contradictorio: que por un lado se promueva el turismo de naturaleza; y por otro, se destruya. Mientras tanto, el silencio ominoso de las autoridades oficiales provoca que se siga creando esa imagen de la conservación ambiental y turismo en manos de los indígenas. Para ellas lo más importante es la "generación de empleo y autoempleo", pese a la tala de árboles y el daño que causa al medio ambiente.

El papel de la Asamblea en la mediación de conflictos

En general, se asume entre los indígenas que el turismo es una actividad sumamente importante que ha requerido de acuerdos, consensos y disensos. A pesar de que hay un trabajo colaborativo, basado en intereses económicos legítimos entre los habitantes, se han generado conflictos. No obstante, se

dirimen, pues en lo colectivo quieren mejorar sus condiciones de vida y ciertos patrones para armonizar el trabajo en el turismo.

El tipo de organización que por décadas tiene la comunidad requiere de la Asamblea comunitaria como el eje que regula el comportamiento social y contribuye a que se subsanen las tensiones entre los habitantes. Esto ha redundado en beneficios organizativos, administrativos y de participación, no solo funcional sino de efectividad para la actividad turística. Esto, además, ha contribuido a que la asamblea logre una mejor articulación con los actores económicos y políticos interesados en el turismo. Por ello, la interrelación entre actores comunitarios y externos articula una dinámica de trabajo equilibrado. Aunque hay despliegues de autonomía en las decisiones, pues en el territorio se producen alianzas, negociaciones y apropiaciones respecto al turismo que se desarrolla en el territorio indígena. La asamblea, entonces, tiene un papel preponderante en la mediación de conflictos y ayuda a que el proyecto turístico siga adelante, pese a la ausencia de actores que en alguna etapa estuvieron involucrados, y que al pasar de los años se retiraron.

REFLEXIONES FINALES

El proceso experimentado por los campesinos de Río Arcotete habla de una reestructuración social consensuada a partir del turismo de naturaleza. Esta transformación explica lo profundo de la crisis del sector campesino en Chiapas y su repercusión en todos los espacios rurales. Asimismo, es evidente la impronta de la gubernamentalidad del Estado para crear las condiciones de mercado y nuevos espacios turísticos que normalizan comportamientos a largo plazo. Sin lugar a dudas, Río Arcotete se erige como un espacio social transformado, real y de prácticas. Es un área producida donde se generan relaciones de poder, pues en esta se define el uso, control y usufructo de los recursos naturales. Ahora los indígenas reconfiguran territorialmente sus dinámicas laborales, de acuerdo con los tiempos globales y locales. El turismo los ha colocado en una dinámica de su calendario laboral donde tienen que hacer forzosamente ajustes desde lo social, familiar y laboral. Por tanto, se genera una nueva división territorial del trabajo. Este proceso ha sostenido a los pobladores de Río Arcotete por varios años. Sin embargo, les ha sido funcional de acuerdo a sus intereses económicos y sus estilos de vida en la comunidad.

El régimen de producción creado por el turismo ha hecho que los campesinos asuman subjetivamente la importancia de esta actividad y que normalicen paulatinamente la conservación medioambiental sin dejar de apoyarse en el Estado para obtener ingresos a través de programas de gobierno.

La normalización de la práctica turística en la comunidad Río Arcotete paulatinamente adquiere el carácter de hecho social y económico. La tran-

sición de un modelo productivo primario a uno terciario señala un hecho importante: la estrategia de planificación del espacio turístico por actores locales y externos cuyos intereses son económicos. El cambio del espacio rural destinado a la milpa, a uno de recreación y visita de los turistas, habla de una lógica de mercado y el respaldo del gobierno para sostenerla. Sin embargo, la actividad por sí misma trae otros problemas entre los habitantes como son la exigencia de infraestructura, capacidades de agencia y desarrollo de capital. En consecuencia, se requieren mayor energía social y nuevas estrategias socioproductivas para el trabajo. Estos componentes tienen varios matices y el Estado no logra ser la expresión real del desarrollo económico deseado entre los sujetos.

El territorio campesino fija límites en la acumulación de capital, pues no hay aún las condiciones para una reproducción ampliada del capital que obtienen del turismo. Los campesinos están en una etapa lenta del progreso económico, a pesar de ser pluriactivos hay condiciones históricas que pesan. Por ejemplo, en el escenario general de Chiapas la condición estructural de pobreza (74,7 %) y pobreza extrema (46,7 %) (Levy *et al*., 2016) impide que coexistan condiciones positivas para salir de la desigualdad y, por ende, de los conflictos sociales que se generan a causa de la precariedad laboral, en el campo y los servicios.

La política turística y ambiental, como una tecnología de gobierno (Foucault, 2009), operó en la comunidad Río Arcotete para minimizar la coyuntura política y social vivida en la década de los noventas. Con el turismo planteado como un proyecto de vida se instrumentalizan patrones de normalización de esta actividad y una dinámica socio-organizativa dentro del territorio campesino. Estos cambios refuerzan la idea de que los proyectos "desde arriba" son efectivos —al menos en el discurso— aunque a condición de tener límites y contradicciones "desde abajo", ya que el *habitus* campesino genera resistencias a los cambios sociales. Al menos en Río Arcotete ha sido positiva esta verticalidad de la política pública, pues el interés económico obligó a diferentes sectores a negociar y pactar.

La diversidad de liderazgos que emergen en la comunidad, sea por experiencias individuales o colectivas, genera ideas, acciones y relaciones políticas. Asimismo, esta da lugar a relaciones de poder y varias formas de ejercer el control sobre los recursos naturales y la actividad turística. En esta situación el gobierno figura como creador del espacio y tiene un papel central, pues el capital por sí solo no produce el espacio, sino que se necesita del gobierno, quien mediante una política económica haga eco a las necesidades del capital.

El territorio indígena en Arcotete es la expresión de la dominancia de un régimen de verdad, tal como plantea Foucault es la dispersión histórica de los discursos que se crean en función del poder, en este caso los

discursos que oscilan en el mercado turístico, pues se priorizan criterios de coste-beneficio y se adjudica la responsabilidad a los usuarios (los indígenas que tienen qué resguardar los recursos naturales para el turismo). En consecuencia, a largo plazo se reproducirán los mismos criterios, verdades y lógicas que dominan la economía del mercado y la competitividad, una lógica en la que termina por imponerse el criterio de la conservación y el desarrollo económico.

Estos efectos se han internalizado en la población de Río Arcotete. Por ejemplo, de ser campesinos sin tierra ahora se asumen como microempresarios de turismo de naturaleza. Este hecho genera múltiples identidades que se construyen en la fragmentación de discursos a favor de alternativas de subsistencia, pero bajo una historia en común: lo rural. Sin embargo, la paradoja es que son construidos como sujetos y objetos de las políticas públicas agraria y ambiental y recrean una realidad interna y externa donde el turismo es visto como una actividad de desarrollo económico. En este imaginario se vende la idea de "lo indígena y cultural" como bienes intangibles apreciados por el mercado turístico. Los campesinos de Río Arcotete son sujetos obligados a negociar, pero subalternos al empresariado local que refuerza las rutas de turismo. Al ser sujetos/producto del mercado y el Estado no logran la autonomía económica, pues siguen siendo una sociedad dependiente del financiamiento externo. Hay una nula autogestión económica como proyecto turístico. Por tanto, mantienen una tensión relacional que los obliga a construir campos semánticos para reinterpretar su mundo social y económico y, por tanto, negociar. Es por ello que los campesinos refuerzan sus instituciones (la asamblea y las normas) para actuar, pensar y sentir de acuerdo al contexto.

Río Arcotete es un ejemplo de la gubernamentalidad que reconfigura violentamente el territorio indígena, pues se generan nuevas divisiones territoriales del trabajo, relaciones sociales y arreglos institucionales que se internalizan lentamente. Aunque los indígenas gozan de una construcción social positiva por las instituciones de gobierno, no han logrado adaptarse del todo a los cambios radicales en sus estilos de vida. Desde la lógica del gobierno la participación voluntaria es importante y esta puede, o no, ser efectiva. Los indígenas suelen ser vistos carentes de poder político para exigir de manera efectiva el respaldo total del gobierno y su situación de pobreza no les da posibilidades reales de elección. Las crisis los han dejado en un estado de indefensión y ahora solo les queda la opción de aceptar y distribuir su tiempo en varias actividades productivas, con el fin de obtener diversos ingresos para subsistir.

El uso político del turismo es el paliativo a la pobreza que se viene arrastrando por décadas. Este discurso se internaliza con toda la complejidad social y cultural entre los campesinos y se generaliza día con día por

la instrumentación de programas de normalización de la conservación medioambiental. El resultado es que en la comunidad hay un turismo comunitario donde el total de los indígenas está integrado al proyecto. En la última década el auge del turismo de naturaleza permeó en el territorio, de tal manera que se experimentaron cambios económicos por la afluencia de turistas. Esta experiencia subsanó los pocos beneficios obtenidos de otras actividades como la agricultura o la venta de su fuerza de trabajo.

En general, al tipo de turismo que desarrollan los pobladores de Río Arcotete le falta mucho para consolidarse. Los indígenas siguen dependiendo del gobierno a través de sus programas de desarrollo económico y social. Esta debilidad endógena obstruye las capacidades locales e impide el desarrollo del turismo de naturaleza, pues no hay autogestión económica.

Desde el punto de vista mercantil, a pesar de poseer el potencial para construir un destino de turismo de naturaleza y un apuntalado corpus de reglas, políticas y regulaciones individuales y colectivas, los pobladores de Río Arcotete no logran salir de la problemática de la reorganización para obtener capital en invertir en infraestructura y generar agencia para ser autogestivos. Estos asuntos les impiden avanzar y consolidar su oferta como centro ecoturístico y no depender de otros actores tales como los empresarios locales, quienes son, en muchos casos, los beneficiarios directos de la venta de los servicios turísticos.

No obstante, los indígenas se han adaptado a las reglas del mercado de servicios turísticos. Día a día experimentan cómo hacer negocios en su territorio, lidian con el tipo de gobierno que casi los abandona y se enfrentan a otras dificultades. Actualmente, dependen de otros agentes locales y regionales quienes dirigen el proceso de creación de la demanda de estos nuevos espacios turísticos. En consecuencia, el proceso de autonomía económica aún está en marcha. El reto es salir de la aparente prosperidad que podría brindar el turismo y equilibrar su pluriactividad productiva.

REFERENCIAS

Braudel, F. (1974). *La Historia y las Ciencias Sociales*. Alianza Editorial.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). (2020). *Informes de pobreza y evaluación de las entidades federativas 2020*. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Paginas/Informes_Pobreza_Evaluacion_2020.aspx

Consejo Nacional de Población. (2020). P*royecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2016-2015*. El Colegio de México, Fondo de Población de Naciones Unidas (2019). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/487396/07_CHP.pdf.

Coronado, G. (2008). Insurgencia y turismo: reflexiones sobre el impacto del turista politizado en Chiapas. *Pasos. Revista de Turismo y patrimonio cultural, 6*(1), 53-68. http://www.pasosonline.org/Publicados/6108/PS0108_5.pdf.

Uribe Cortez, J., & Martínez Velasco, G. (2012). *Cambio religioso, expulsiones indígenas y conformación de organizaciones evangélicas en Los Altos de Chiapas. Política y Cultura*, (38), 141-161.

Foucault, M. (2009). *El gobierno de sí y de los otros*. México: FCE.

Foucault, M. (2004). Governmentality. The Essential Foucault, *Nueva York, The Free Press*, 229-245.

Gil-Méndez, J. (Julio-diciembre de 2015). Neoliberalismo, políticas agrarias y migración. Consecuencias de un modelo contra los productores. *Ra Ximhai, 11*(2), 145-162. https://www.redalyc.org/pdf/461/46143101009.pdf.

González, F. (15 de septiembre de 2022). El Arcotete, capricho natural. *El Informador.mx*. https://www.informador.mx/suplementos/El-Arcotete-capricho-natural-20180519-0098.html

Harvey, D. (2001). *Espacios del Capital. Hacia una geografía crítica*. Ediciones Akal.

Huerta H, M; Chávez P. M. (2003). Tres modelos de política económica en México durante los últimos sesenta años. *Análisis Económico, primer semestre, 18*(37), 55-80.

Hernández, A., y Fenner, G. (2018). El turismo, ¿un arma para la guerra? Tensiones en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Ciudad de vacaciones. Conflictos urbanos en espacios turísticos*, pp. 81-120.

INEGI. (2011). *Censo de Población y Vivienda 2010. Chiapas. Aguascalientes*.

INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda*.

Lefebvre, H. (2013). *La producción del espacio*. Capitán Swing.

López, C., Mazariegos, A., & Milla, A. (2016). Aciertos y retos de la oferta turística actual del turismo de Naturaleza y ecoturismo en el municipio de Ocosingo, Chiapas, en México. *Turydes. Turismo y Desarrollo*.

Mendiguchía, P. (2005). *Quinto informe de Gobierno del C. Pablo Salazar Mendiguchía*.

Miroglio, M. (2017). Estrategia para el Impulso y Desarrollo del Turismo de Naturaleza en México. Subsecretaría de Planeación y Política Turística.

Montoya, G., y Hernández, F. (2013). Proyectos de ecoturismo en San Cristóbal de Las Casas. *Cambios, rupturas y continuidades en la dinámica territorial de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas*, p. 362.

Oseguera A. F. (2014). Turismo de base comunitaria y experiencias locales. Estudio de caso de la comunidad indígena maravilla Tenejapa, Chiapas. *Ra Ximhai, 10*(3).

Picado. M. (2014). *Ecoturismo, transformaciones socioeconómicas y territoriales en el ejido Río Arcotete, municipio de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.* [Tesis de maestría, El colegio de la Frontera Sur].

Registro Agrario Nacional (2013). *Arcotete*. https://www.chiapas.gob.mx/funcionarios/federal/ejecutivo/ran

Real Estate. Market and Lifestyke. (21 de enero de 2010). Dotarán de infraestructura a parque ecoturístico en Chiapas. *Real Estate Market & Lifestyle*. https://www.realestatemarket.com.mx/noticias/mercado-inmobiliario/turisticos/8180-dotaran-de-infraestructura-a-parque-ecoturistico-en-chiapas.

Ruano de la Fuente, J. M. (8-11 de octubre de 2002). *La gobernanza como forma de acción pública y como concepto analítico* [Presentación en papel]. VII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública. Lisboa, Portugal.

Sánchez Morales, J. C. (2011). *Ecoturismo y reapropiación de la naturaleza: estudio de caso del proyecto ecoturístico "Corralito", en la comunidad Corralito, municipio de Oxchuc, Chiapas*. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, El Colegio de la Fronteras Sur, ECOSUR.

Sandoval, E. (2006). *Ecoturismo operación técnica y gestión ambiental*. México, Trillas.

Santos, M. (2000). *La Naturaleza del espacio: Técnica y tiempo: razón y emoción*. Barcelona, Ariel.

Secretaría de Turismo. (2014). *Boletín 144. Canalizan SECTUR y CDI más de 27 mdp para proyectos turísticos en comunidades indígenas de Chiapas*. SECTUR.

Secretaría de Turismo. (2019). *Reporte estadístico de indicadores del turismo de Chiapas. Diciembre 2019*. Gobierno del Estado de Chiapas.

SECTUR. (2014). *Guía de incorporación y permanencia Pueblos Mágicos*. https://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2014/10/GUIA-FINAL.pdf

SECTUR. (Noviembre de 2006). *El turismo de naturaleza: retos y oportunidades*. México.

SECTUR. (s/f). *Pueblos Mágicos: Reglas de operación*. Secretaría de Turismo.

SEMARNAT. (4 de septiembre de 2022). *Turismo de Naturaleza*. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_TURISMO02_04&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce.

Trench, Tim. (2005). Representaciones y sus impactos: el caso de los lacandones en la Selva Lacandona. *LiminaR, 3*(2), 48-69. https://doi.org/10.29043/liminar.v3i2.182

Vallés, M. (1997). Técnicas cualitativas de investigación social. Reflexión metodológica y práctica profesional. Síntesis.

Vázquez, T. L. (2019). E*l movimiento zapatista de 1994 como base para fomentar turismo de experiencia revolucionaria en Caracol II, Oventic, Chiapas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Villafuerte, S, D. (2021). *Los Avatares de Chiapas. Proyectos, conflictos, esperanzas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas/Juan Pablos Editor.

Villafuerte S., D. (2015). Crisis rural, pobreza y hambre en Chiapas. *Liminar. Estudios Sociales y Humanísticos,* 13-28.

Villafuerte, S. D. (2002). *La tierra en Chiapas. Viejos problemas nuevos.* Fondo de Cultura Económica.

Recepción: **Octubre 4, 2023** | Aceptación: **Octubre 26, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Evaluación de la relación molar poliol/diisocianato en las propiedades fisicoquímicas de biopoliuretano producido a partir de grasa avícola

Evaluation of the molar polyol/diisocyanate ratio in the physicochemical properties of biopolyurethane produced from poultry fat

Maritza del Carmen Hernández-Cruz[1]
maritza.hernandez@unach.mx • ORCID: 0000-0002-1165-2026

Yenifer Ramírez-Roblero[2]
M13270757@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0009-0006-3369-7950

Rocío Meza-Gordillo[2]
rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0000-0002-3975-7372

María Celina Luján-Hidalgo[2]
maria.lh@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0000-0002-5720-9652

José Humberto Castañón-González[2]
jose.cg@tuxtla.tecnm.mx • ORCID: 0000-0003-3625-6414

1 Universidad Autónoma de Chiapas, México, Chiapas, México

2 Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Para citar este artículo:
Hernández Cruz, M. del C., Ramírez Roblero, Y., Meza Gordillo, R., Luján Hidalgo, M. C., & Castañón González, J. H. Evaluación de la relación molar poliol/diisocianato en las propiedades fisicoquímicas de biopoliuretano producido a partir de grasa avícola. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a05

RESUMEN

Los poliuretanos convencionales son los plásticos con mayor demanda en el mundo, se fabrican a partir de derivados del petróleo que es un recurso no renovable y contribuye a la contaminación ambiental. Sin embargo, los biopoliuretanos se producen a partir de fuentes renovables, como aceites vegetales o azúcares derivados de plantas, ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuyen la huella de carbono. La síntesis de biopoliuretanos permite ajustar las propiedades de los materiales finales para adaptarse a diferentes aplicaciones como la industria automotriz, la construcción, la fabricación de muebles y la industria textil. Pueden variar en términos de resistencia, elasticidad, rigidez y capacidad de carga. Estas características dependen de la estructura química y concentración del poliol y diisocianato con el que se producen.

En este trabajo se describe la síntesis de poliuretanos utilizando poliol proveniente de grasa avícola y diisocianato de isoforona y el efecto de la relación poliol/isocianato (OH/NCO) en las propiedades fisicoquímicas de los poliuretanos obtenidos. En los espectros de infrarrojo (FTIR) se observó la presencia de la banda 3350 cm^{-1} que corresponde al enlace -NH y la ausencia del estiramiento del grupo isocianato (NCO) a 2270 cm^{-1}, lo que indica que todos los grupos isocianato reaccionaron durante la polimerización. Se evaluaron poliuretanos generados con relaciones molares poliol/isocianato (OH/NCO) 1:3, 1:4 y 1:5 observándose que a mayor relación molar aumenta la rigidez y la resistencia a la compresión del biopoliuretano, probablemente por la mayor formación de entrecruzamientos.

Palabras clave:

Bioplásticos; residuos; rigidez; compresión.

— Abstract—

Conventional polyurethanes are the most demanded plastics in the world, they are manufactured from petroleum derivatives which is a non-renewable resource and contributes to environmental pollution. However, biopolyurethanes are produced from renewable sources, such as vegetable oils or plant-derived sugars, help reduce dependence on fossil fuels and decrease the carbon footprint. The synthesis of biopolyurethanes makes it possible to adjust the properties of the final materials to suit different applications such as the automotive industry, construction, furniture manufacturing and the textile industry. They can vary in terms of strength, elasticity, stiffness and load capacity. These characteristics depend on the chemical structure and concentration of the polyol and diisocyanate with which they are produced.

This paper describes the synthesis of polyurethanes using polyol from poultry fat and isoforone diisocyanate and the effect of the polyol/isocyanate (OH/NCO) ratio on the physicochemical properties of polyurethanes obtained. In the infrared spectra (FTIR) was observed the presence of the band 3350 cm^{-1} corresponding to the -NH bond and the absence of stretching of the isocyanate group (NCO) to 2270 cm^{-1}, indicating that all isocyanate groups reacted during polymerization. Polyurethanes generated with molar ratios polyol/isocyanate (OH/NCO) 1: 3, 1: 4 and 1: 5 were evaluated, observing that the higher the molar ratio increases the rigidity and compressive strength of biopolyurethane, probably due to the greater formation of crosslinks.

Keywords:

Bioplastics; waste; stiffness; compression.

Los poliuretanos son materiales poliméricos versátiles que, desde la síntesis desarrollada por Bayer *et al*. en 1937, se han utilizado para generar productos con diferentes características como resinas, recubrimientos, espumas flexibles y rígidas, elastómeros y adhesivos. Entre estas aplicaciones, las espumas rígidas y flexibles se han utilizado principalmente en la industria del transporte, construcción, embalaje y de muebles. Los poliuretanos son polímeros que generalmente son producidos por reacciones de poliadición entre polioles e isocianatos que, dependiendo de las estructuras de éstos serán las propiedades físico mecánicas del poliuretano obtenido (Shen, *et al*. 2019). Por ejemplo, Kasprzyk y Datta (2019) observaron que la concentración de grupos isocianato en el prepolímero, tiene efecto en el grado de separación de la fase del segmento duro que puede ser correlacionado con la estructura química y las propiedades mecánico-dinámicas del poliuretano. Por otra parte, Zieglowski *et al*. (2019), investigaron la reactividad de la lignina Kraft modificada con diferentes isocianatos comerciales en la reacción con polioles convencionales, identificando que la morfología, el módulo de elasticidad y la densidad son diferentes en todos los poliuretanos obtenidos. Daneshvar *et al*. (2019) prepararon poliuretanos adhesivos utilizando poli 4,4'-difenil metan diisocianato y toluen diisocianato (TDI), en diferentes relaciones NCO/OH y poliol de aserrín observando que al incrementar la relación NCO/OH a 1.7, la fuerza de corte incrementó.

Como se puede observar, se han realizado diferentes esfuerzos para desarrollar biopoliuretanos utilizando polioles o isocianatos de origen biológico. Principalmente están descritas las síntesis de polioles a partir de aceites vegetales como de girasol, higuerilla, soya, ricino, palma, oliva, linaza, semilla de uva, maíz, jatropha y aceite de salvado de arroz (Ang *et al*., 2014; Calvo-Correas *et al*., 2015; Fu *et al*., 2019; Ismail *et al*., 2011; Narine *et al*., 2007; Purwanto, 2010; Rosnah *et al*., 2016; Shen *et al*., 2019; Valero *et al*., 2008). Sin embargo, estos aceites al ser comestibles generan la controversia de su uso para fines industriales. La grasa avícola se ha utilizado como materia prima para la producción de biodiesel, biolubricantes y polioles (Galeano y Guapacha, 2011; Rojas y Girón, 2011, Ramírez *et al*., 2023) por lo que en este proyecto se propone el uso de poliol de origen avícola para la producción de biopoliuretanos y su estudio en el efecto de la relación molar OH/NCO sobre sus propiedades fisicoquímicas.

METODOLOGÍA

Síntesis del poliol a partir de grasa avícola

La grasa avícola fue extraída, purificada y caracterizada de acuerdo con lo descrito por Hernández-Cruz *et al*. (2015). Para la obtención del poliol

se utilizó la metodología descrita por Ramírez, *et al*. (2023) en donde se epoxidó la grasa avícola añadiendo ácido acético y peróxido de hidrógeno en relación estequiométrica con el número de moles de dobles enlaces presentes en el aceite. Para determinar los números de moles de los dobles enlaces de la grasa avícola se utilizó el índice de yodo de acuerdo con la siguiente fórmula (ecuación 1):

$$(1) \quad mol(=) = IY/(2\ x\ Mi\ x\ 100)\ \ x\ P$$

Donde:

mol (=) moles de los dobles enlaces presentes en el aceite

IY= 63.09 I2/100g.

Mi = peso molecular del yodo en gramos.

P = peso de muestra en gramos.

Posteriormente de acuerdo con los cálculos obtenidos se colocó la muestra en un matraz de 3 bocas y se añadió ácido acético (CH_3COOH) y como catalizador H_2SO_4. La reacción se mantuvo en agitación constante (350 rpm), en un baño de aceite a una temperatura menor a 30 °C, posteriormente a esta misma temperatura se agregó H_2O_2 gota a gota por 30 minutos, una vez agregado se aumentó la temperatura y se mantuvo durante 6 h. Pasado el tiempo de reacción, se adicionó bicarbonato de sodio al 5% v/v, se agitó y se colocó el contenido del matraz en un embudo de separación, para realizar lavados adicionando dos veces $NaHCO_3$ al 10%, posteriormente agua, y por último $NaHCO_3$ al 5% hasta alcanzar la neutralidad que se midió con un potenciómetro modelo Sesión 3 (HACH, Colorado, USA) con un electrodo de pH modelo 51935-00 (HACH, Colorado, USA). Por último, a la fase orgánica se le adicionó Na_2SO_4 anhidro al 20% p/p, para eliminar las trazas de agua que pudiera quedar de los lavados (Salimon *et al*., 2014).

Para caracterizar al poliol sintetizado se realizó espectroscopía de IR utilizando un espectrofotómetro IR Nicolet™ (Thermo Scientific, Massachusetts, EE. UU.) en el intervalo de 650-4000 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1} y 16 barridos (Jayavani *et al*., 2017). La estructura del poliol se confirmó mediante resonancia magnética nuclear (RMN) de 13C utilizando un equipo modelo DD2 (Agilent, California, EE. UU.) de 500 MHz. Los experimentos se realizaron a 25 °C y cloroformo deuterado como disolvente. Hecha la disolución de 5mg de muestra, se transfirió aproximadamente 1 mL de la solución a un tubo de RMN de 5 mm. El tubo de muestra se insertó en el imán y se dejó alcanzar el equilibrio térmico durante 10 minutos antes de realizar el experimento.

El índice de acidez se realizó de acuerdo con el método oficial AOCS Te 1a-64 (2009). Para la determinación del número de hidroxilo del poliol se utilizó la metodología descrita por Zhang *et al*., (2015). Se depositó en un

matraz de 50 mL, 1 g de muestra, se añadieron 10 mL de tetrahidrofurano (THF), el contenido se mezcló con la ayuda de un agitador magnético, a esta solución se le añadió 10 mL de solución catalizadora (1 g de piridina en 100 mL de THF) seguida de 5 mL de solución acetilante (5 mL de anhidro acético en 50 mL de THF) y se agitó durante 10 min a 25°C, posteriormente se añadió 10 mL de solución de hidrólisis (20 mL de agua en 80 mL de THF) y la agitación continuó por 30 min. Esta solución se tituló potenciométricamente con la solución estándar de KOH etanólico 1 N, utilizando el potenciómetro modelo Sesión 3 (HACH, Colorado, USA), con un electrodo de pH modelo 51935-00 (HACH, Colorado, USA) hasta observar el primer cambio de pH. El cálculo del número de hidroxilo se obtuvo mediante la ecuación 2:

$$(2) \quad OHN = \frac{(V2 - V1 * N * 56.11)}{m} + AN$$

Donde:

OHN es el valor del número de hidroxilo
V_2 es el volumen de KOH gastado durante la titulación del blanco
V_1 es el volumen de KOH gastado durante la titulación de la muestra
N es la normalidad de la solución estándar de KOH
m es el peso de la muestra en g
AN es el índice de acidez de la muestra.

Obtención de poliuretanos

Los poliuretanos (PU) se obtuvieron de acuerdo con la metodología descrita por Zhang *et al*., (2014) con modificaciones. El poliol sintetizado se mezcló con diisocianato de isoforona (IPDI) en relaciones molares OH:NCO de 1:3, 1:4, 1:5, utilizando etil metil cetona (EMC) como disolvente (5mL). Los componentes se llevaron a 70 °C y se mezclaron continuamente durante 30 min. Posteriormente la mezcla se vertió en moldes de silicón de 8 cm x 4.5 cm (largo x ancho), que se secaron durante aproximadamente 14 días. Por último, las láminas de PU se cortaron en dimensiones específicas para la prueba mecánica.

Los poliuretanos obtenidos se caracterizaron por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de acuerdo con la metodología descrita anteriormente.

Las propiedades de compresión se evaluaron de acuerdo con la metodología descrita por Acuña *et al*. (2021), utilizando un texturómetro modelo EZ-SX (Shimadzu, Maryland, U.S.A.) siguiendo la norma ASTM D1621 con un tamaño de muestra de 5 cm x 5 cm x 3 cm y una velocidad de 3 mm/min.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El poliol sintetizado con las condiciones descritas presentó un índice de acidez de 12.63 mg KOH/g (Tabla 1), valor mayor al observado en la grasa avícola utilizada como materia prima. Este aumento en el índice de acidez comprueba la presencia de hidrógenos ácidos, es decir, grupos hidroxilo (OH) en el producto de reacción correspondientes al poliol.

Por otra parte, la cuantificación del número de hidroxilos (OHN) para el poliol fue de 70 mg KOH/g, valor cercano a la predicción del modelo descrito por Ramírez (2023) que fue de 78 mg KOH/g. Comparando los valores del número de hidroxilo con otras investigaciones que producen polioles a partir de grasas vegetales, los valores de número de hidroxilo obtenidos en este estudio son menores (Tabla 1).

Tabla 1
Índice de acidez y número de hidroxilos del poliol a partir de grasa de pollo y polioles a partir de aceites vegetales (Shen et al. 2019)

Muestra	Índice de acidez (mg KOH/g)	Número de hidroxilo (mg KOH/g)
Materia prima (grasa de pollo)	0.89	-
Poliol de grasa de pollo	12.63	70
Poliol de aceite de soya	-	150.4
Poliol de aceite de linaza	-	190.8
Poliol de aceite de oliva	-	190
Poliol de aceite semilla de uva	-	270
Poliol de aceite de salvado de arroz	-	232

Esta diferencia de resultados puede deberse a tres factores; en primer lugar, a que los aceites vegetales utilizados para este fin tienen porcentajes mayores de ácidos grasos poliinsaturados en sus triglicéridos (Tabla 2), por lo tanto, existe mayor probabilidad de que esos dobles enlaces generen mayor cantidad de grupos hidroxilo (Marcano Serrano, 2008). Un segundo factor es que, en la reacción, algunos grupos hidroxilo formados en el triglicérido, se adicionaron nucleofílicamente a un grupo epóxido cercano, formando un grupo éter. Por otra parte, las reacciones colaterales asociadas a la apertura del anillo causadas por los componentes presentes en la mezcla de reacción como el ácido acético, protones, perácido acético o peróxido de hidrógeno, generan compuestos no hidroxilados o con menor número de grupos hidroxilo, lo que generaría una menor cuantificación (Rangarajan, 1995).

Tabla 2

Porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados de la grasa de pollo y diferentes aceites vegetales (Marcano Serrano, 2008)

Muestra	Ácido linoleico (%)	Ácido linolénico (%)
Grasa de pollo (este estudio)	17.834	1.180
Aceite de soya	53	8
Aceite de linaza	16	52
Aceite de oliva	6.3	0.3
Aceite de palma	52.1	7
Aceite de colza	14.5	11

Para estudiar la estructura del poliol, se identificaron los grupos funcionales presentes mediante ATR-FTIR (Figura 1). Las bandas observadas en el poliol de este trabajo son similares a las observadas por Ionescu *et al*. (2011) donde prepararon polioles de poliésteres mediante esterificación a partir de aceite de ricino y de poliésteres petroquímicos (ácido adípico y dietilenglicol).

La banda de 3432.30 cm^{-1} se asigna a los grupos hidroxilo, mientras que las bandas a 2922.63 cm^{-1} y 2853.90 cm^{-1} se asignan al estiramiento simétrico en fase C-H. La banda intensa aguda de 1739.90 cm^{-1} es característica del carbonilo de éster, la banda en 1460.27 cm^{-1} se asigna a la flexión asimétrica del C-H y las bandas a 1097.56 cm-1 y 1159.31 cm^{-1} al estiramiento simétrico y asimétrico del C-O-C.

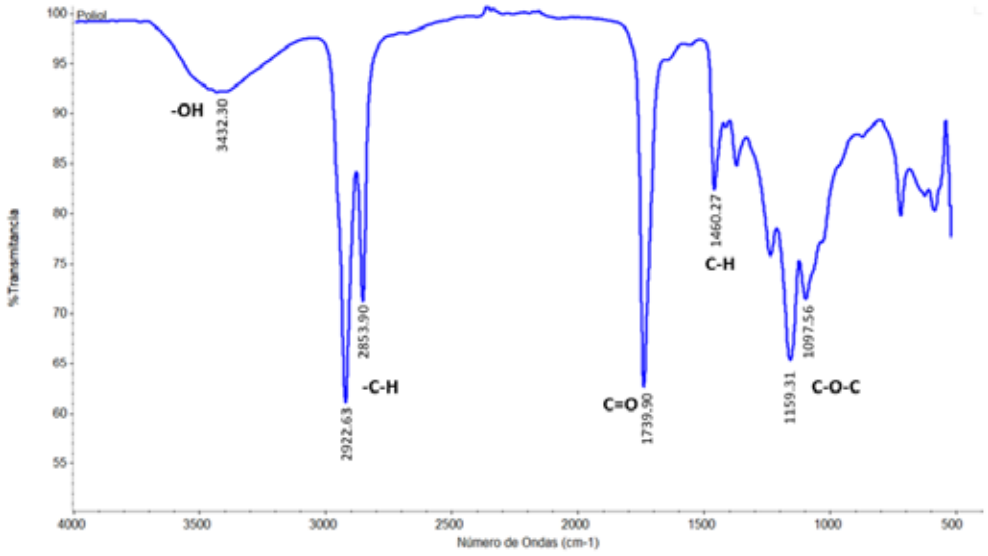


Figura 1. Espectro de FTIR de poliol a partir de grasa de pollo

Por otra parte, al evaluar los espectros de FTIR (Figura 2) de los poliuretanos sintetizados se observa que (relación molar OH/NCO 1:3, 1:4 y 1:5) no está presente la banda de la señal 2270 cm^{-1}, asociada a la vibración de estiramiento del grupo N=C=O del IPDI, lo que indica que todos los grupos isocianatos reaccionaron durante la polimerización con los polioles. También se observa en los espectros de los PU una banda centrada en 3350.63 cm^{-1}, 3351.95 cm^{-1} y 3341.13 cm^{-1} respectivamente, que se atribuyó al estiramiento del N-H del grupo uretano, ésta se hace más intensa a medida que aumenta el contenido de isocianato en el material, debido a una mayor formación de grupos uretano. Además, se pudieron observar dos bandas en la región de la amida II asignada a la vibración de estiramiento de C-N junto con la vibración en el plano del enlace N-H, presentes en el producto de relación molar 1:3 a 1644.74 cm^{-1} y 1552.68 cm^{-1}; en el de relación molar 1:4 a 1643.27 cm^{-1} y 1554.00 cm^{-1} y para la relación1:5 a 1640.79 cm^{-1} y 1552.89 cm^{-1}. Esta banda también se hace más intensa con el aumento del contenido de isocianato, debido a que existe mayor participación de los grupos uretano.

Se pudieron apreciar las bandas en 1734 cm^{-1} atribuido al estiramiento del carbonilo de los grupos éster (C=O). Esto resultados nos indican que el IPDI reaccionó complemente con los hidroxilos del poliol y produjo el poliuretano (Chen *et al*., 2021; Dai *et al*., 2020; Mathew *et al*., 2017).

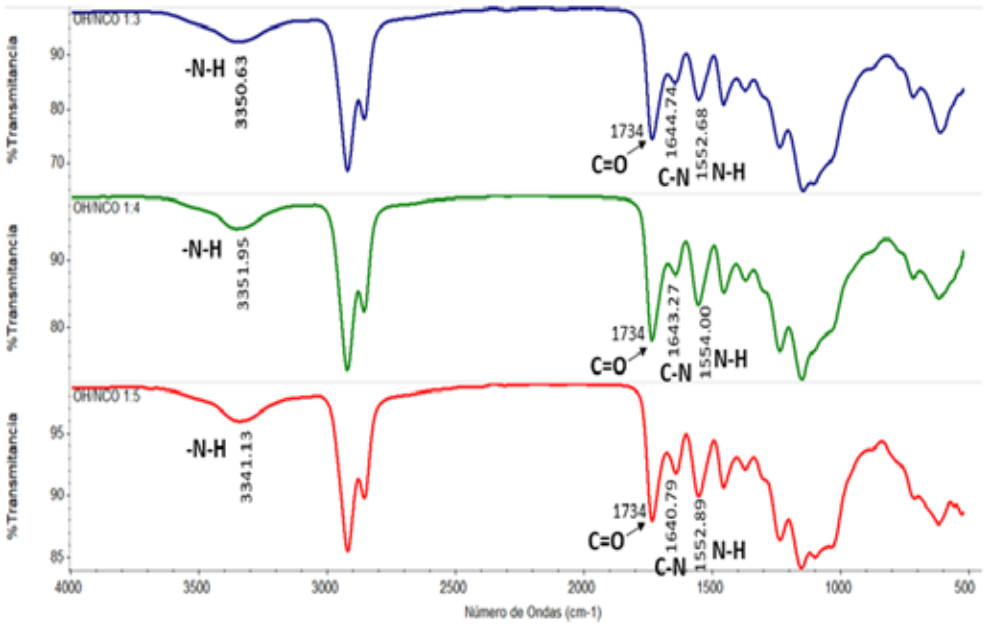


Figura 2. Espectro de FTIR de los poliuretanos obtenidos a diferentes relaciones molares de los grupos OH/NCO

La elevada reactividad del grupo isocianato con los compuestos activos de hidrógeno puede explicarse por las siguientes estructuras de resonancia (Figura 3):

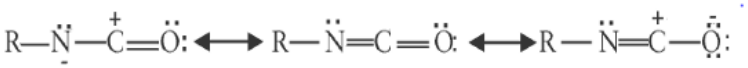


Figura 3. Estructuras canónicas generadas por el efecto de resonancia del grupo isocianato

La densidad de electrones es mayor en el átomo de oxígeno, mientras que el átomo de carbono tiene la menor densidad de electrones, haciendo que el átomo de carbono tenga una carga positiva y el oxígeno o el nitrógeno una carga negativa dependiendo de la estructura canónica que se trate.

La reacción de los isocianatos con los compuestos activos de hidrógeno (OH), es una adición en el doble enlace carbono–nitrógeno (Figura 4). Esta reacción se da de la siguiente manera: el centro nucleófilo de los compuestos activos de hidrógeno, es decir, el átomo de oxígeno de los grupos hidroxilo o los átomos de nitrógeno en el caso de las aminas, ataca nucleofílicamente al átomo de carbono electrófilo y el hidrógeno se añade al átomo de nitrógeno de los grupos -NCO. Los grupos que quitan los electrones aumentan la reactividad de los grupos -NCO y, por otra parte, los grupos donares de electrones disminuyen la reactividad frente a los compuestos activos de hidrógeno (Ionescu, 2016).

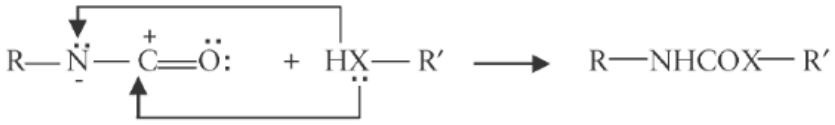


Figura 4. Mecanismo de reacción del grupo isocianato con compuestos activos de hidrógeno

Con el fin de evaluar el efecto de la relación molar OH/NCO en la formulación de los poliuretanos, se realizó la prueba mecánica de compresión.

De las tres muestras generadas, la muestra de PU con relación molar 1:3 (OH/NCO) no cumplió con los requerimientos para realizar el método de compresión, debido a que el material obtenido fue un material que se hidrataba fácilmente lo que lo hacía no manejable, impidiendo la cuantificación, mientras que los poliuretanos preparados a partir de la relación molar 1:4 y 1:5 de OH/NCO fueron espumas sólidas por lo que fue posible realizar la determinación. Nguyen Dang *et al.*, (2016) menciona que a mayor relación OH/NCO, mayor será el aumento de los segmentos duros, generando mayor entrecruzamiento en la polimerización del PU.

La figura 5 y 6 muestran los gráficos de la fuerza ejercida en Newton (N) y el desplazamiento del material (mm), parámetro descrito como rigidez, que es una medida cuantitativa de la oposición a las deformaciones

elásticas a causa de una fuerza o un esfuerzo. Para el material obtenido con la relación 1:4 (OH/NCO) tuvo un desplazamiento de 15.478 mm aplicando una fuerza de 400.753 N, por lo que la rigidez resultante fue de 25.89 N/mm, mientras que para el poliuretano obtenido con una relación 1:5 (OH/NCO) aplicando la misma fuerza se desplazó 9.652 mm por la que la rigidez fue de 41.52 N/mm. Esto indica que a una menor relación 1:4 (OH/NCO), la rigidez fue menor, en comparación con el PU con relación 1:5 (OH/NCO). Este resultado puede deberse a que en el PU 1:5 hay mayor cantidad de grupos isocianato que generan mayores entrecruzamientos con el poliol, lo que genera una mayor oposición a la deformación en comparación con el PU obtenido con la relación 1:4.

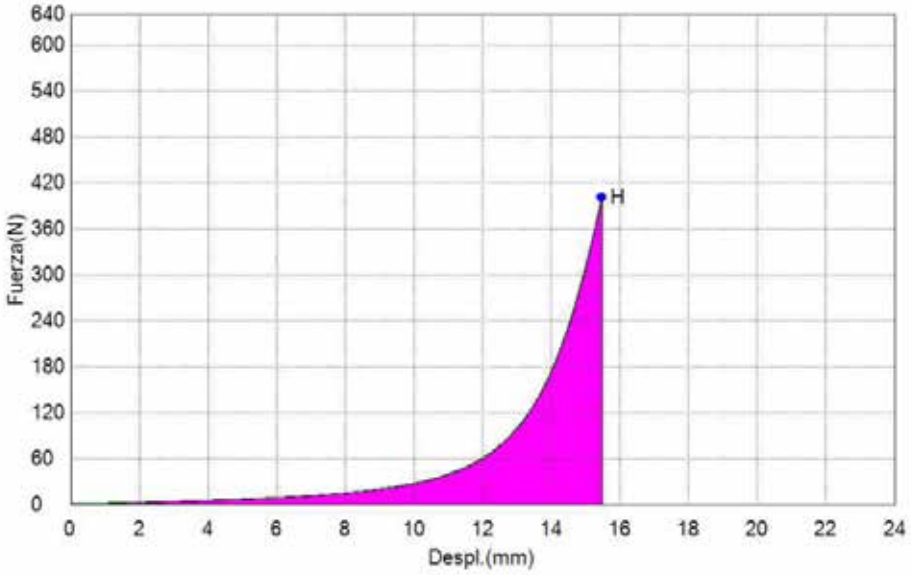


Figura 5. Rigidez del poliuretano generado con la relación molar 1:4 (OH/NCO)

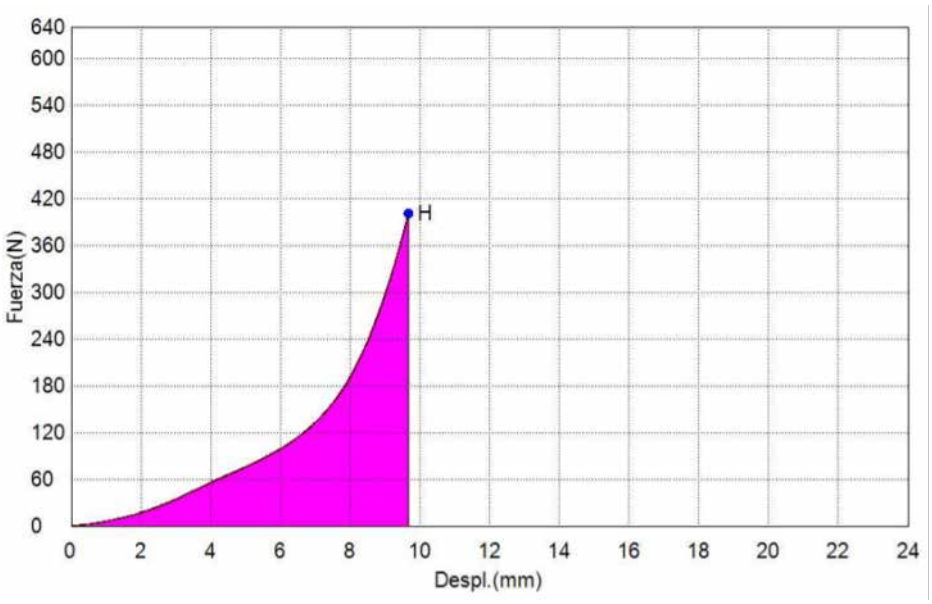


Figura 6. Rigidez del poliuretano generado con la relación molar 1:5 (OH/NCO)

Este mismo comportamiento se observa en la cuantificación de la resistencia a la compresión, observándose mayor valor para el material generado con la relación 1:5 (0.4152±0.003 MPa) en relación con el obtenido con la relación 1:4 (0.2589±0.001 MPa).

La resistencia a la compresión de los poliuretanos de grasa de pollo se compararon con la investigación de Acuña *et al.*, (2020) (Tabla 3) quienes prepararon espumas rígidas de poliuretano a base de aceite de ricino con propiedades retardantes de llama y alta capacidad de aislamiento. Prepararon PU a partir del poliol de aceite de ricino (BIO1), PU a partir de aceite de ricino con tensoactivos y agentes espumantes (BIO2) y PU a partir de aceite de ricino con tensoactivos y propiedades retardantes de llama (BIO2/EG).

La espuma BIO1 obtuvo baja resistencia a la compresión, debido a que presentaba una estructura porosa y celdas grandes, lo que favoreció la fragilidad de las paredes celulares. Al modificar el poliol con un tensoactivo, la resistencia de compresión aumentó, debido a que la viscosidad aumentó por la interacción de la mayor cantidad de grupos OH del poliol de base biológica con los grupos isocianatos, mejorando la estructura de la red, generando celdas más cerradas y el aumento de la densidad de reticulación.

Cuando se adiciona el agente retardante de llamas, la resistencia a la compresión disminuyó, provocando mala adhesión interfacial, dañando las paredes celulares y la integridad de la espuma. Por esta razón los valores de compresión obtenidos en este trabajo son mayores a los poliuretanos de base biológica con aditivos confirmando la presencia de una mezcla homogénea en la polimerización.

Tabla 3
Resistencia a la compresión de PU a partir de grasa de pollo, aceite de ricino y de origen fósil

Muestras	Resistencia a la compresión (MPa)
PU1:4 a partir de grasa de pollo (Este trabajo)	0.2589±0.001
PU1:5 a partir de grasa de pollo (Este trabajo)	0.4152±0.003
BIO1 a partir de aceite de ricino (Acuña, 2020)	0.071
BIO2 a partir de aceite de ricino (Acuña, 2020)	0.146
BIO2/EG a partir de aceite de ricino (Acuña, 2020)	0.112
Espuma de PU a basa de petróleo (Li *et al*., 2015)	0.137 – 0.310

Comparando los valores de resistencia a la compresión con los de espumas de poliuretano generadas a partir del petróleo se observa que el PU 1:4 y los obtenidos con aceite de ricino se encuentran dentro del rango obtenido para el PU a base de petróleo, mientras que el PU 1:5 es mayor, demostrándose que es posible obtener espumas de poliuretano a partir de polioles de grasa de pollo con propiedades similares a las de una espuma a base de petróleo.

El escalamiento del proceso de producción de poliuretanos a partir de grasa avícola revela la búsqueda de materiales sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Sin embargo, la factibilidad de este proceso para su explotación comercial depende de varios factores clave que deben considerarse cuidadosamente como la cantidad y calidad de la grasa avícola, la inversión para la optimización del proceso, la evaluación de los costos asociados con la producción, el análisis del mercado para competir en precio y calidad con los poliuretanos convencionales, y la evaluación del impacto ambiental en su producción.

CONCLUSIONES

Los polioles de grasa de pollo generados por epoxidación e hidrolisis *in situ* fueron apropiados para la formulación de biopoliuretanos, ya que la cantidad de números de hidroxilos del poliol y la relación molar de NCO utilizado favoreció la polimerización de la síntesis de PU, por lo que, los espectros de FTIR indicaron la formación del PU, lo cual nos indicó que los grupos hidroxilos habían reaccionado con el grupo NCO formando los puentes de hidrógeno.

La relación molar OH/NCO es de suma importancia para la síntesis de PU, ya que de ello dependen sus propiedades mecánicas, a mayor valor de hidroxilo se generarán productos más flexibles, y un mayor valor de NCO se generarán productos menos dúctiles y más rígidos.

REFERENCIAS

AOCS Te 1a-64 (2009). Método de prueba estándar para la determinación de valor ácido de ácidos grasos comerciales.

Acuña, P., Zhang, J., Yin, G., Liu, X., & Wang, D. (2020). Bio-based rigid polyurethane foam from castor oil with excellent flame retardancy and high insulation capacity via cooperation with carbon-based materials. *Journal of Materials Science, 56*(3), 2684–2701. https://doi.org/10.1007/s10853-020-05125-0

Ang, K., Lee, C., Cheng, S., & Chuah, C. (2014). Synthesis of palm oil-based polyester polyol for polyurethane adhesive production. *Journal of Applied Polymer Science, 131* (6), 1–8. https://doi.org/10.1002/app.39967

Bayer, O., Siefken, W., Rinke, H., Orthner, L., Schild, H. (1937). A process for the production of polyurethanes and polyureas. German Patent DRP 728981.

Calvo-Correas, T., Santamaria-Echart, A., Saralegi, A., Martin, L., Valea, Á., Corcuera, M. A., & Eceiza, A. (2015). Thermally-responsive biopolyurethanes from a biobased diisocyanate. *European Polymer Journal, 70*, 173–185. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.07.022

Chen, S., Yang, M., Han, Y., Liu, H., & Zou, H. (2021). Hydrophobically modified sustainable bio-based polyurethane for controllable release of coated urea. *European Polymer Journal, 142*, 110114. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110114

Dai Z., Jiang, P., Lou, W., Zhang, P., Bao, Y., Gao, X., Xia, J., & Haryono, A. (2020). Preparation of degradable vegetable oil-based waterborne polyurethane with tunable mechanical and thermal properties. *European Polymer Journal, 139*, 109994. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109994

Daneshvar, S., Behrooz, R., Najafi, S., & Sadeghi, G. (2019). Characterization of polyurethane wood adhesive prepared from liquefied sawdust by ethylene carbonate. *Bioresources, 14*(1), 796-815. https://10.15376/biores.14.1.796-815

Fu, Q., Long, Y., Gao, Y., Ling, Y., Qian, H., Wang, F., & Zhu, X. (2019). Synthesis and properties of castor oil based plasticizers. *RSC Advances, 9*(18), 10049–10057. https://doi.org/10.1039/c8ra10288k

Galeano L., & Guapacha M. (2011). *Aprovechamiento y caraterización de los residuos grasos del pollo para la producción de un biocombustible*. Tesis Químico Industrial, Universidad Tecnológica de Pereyra.

Hernández-Cruz, M. (2015). Tesis de Maestría. *Modificación de la viscosidad de grasa de pollo-biodiesel con aditivos, para la formulación de biolubricantes*. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Ionescu, M., Ji, Y., Shirley, W., & Petrović, Z. (2011). Polyurethanes from hybrid vegetable oil/petrochemical polyester polyols. *ACS Symposium Series*, 1063, 73–93. https://doi.org/10.1021/bk-2011-1063.ch005

Ismail, E., Motawie, A., & Sadek, E. (2011). Synthesis and characterization of polyurethane coatings based on soybean oil–polyester polyols. *Egyptian Journal of Petroleum, 20*(2), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2011.06.009

Jayavani, S., Sunanda, S., Varghese, T., & Nayak, S. (2017). Synthesis and characterizations of sustainable polyester polyols from non-edible vegetable oils: Thermal and structural evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 162, 795–805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.040

Kasprzyk, P., & Datta, J. (2019). Novel bio-based thermoplastic poly (ether-urethane). Correlations between the structure, processing and properties. *Polymer*, (160) 1-10, https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2018.11.032.

Marcano-Serrano, M. (2008). "Obtención de Polioles a Partir de Aceites Vegetales para la Fabricación de Poliuretano". *Tesis de Licenciatura*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.

Mathew, A., Kurmvanshi, S., Mohanty, S., & K. Nayak, S. (2017). Influence of structure-property relationship on the optical, thermal and mechanical properties of castor oil based transparent polyurethane for catheter applications. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry, 54*(11), 772–781. https://doi.org/10.1080/10601325.2017.1332468

Narine, S., Yue, J., & Kong, X. (2007). Production of polyols from canola oil and their chemical identification and physical properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 84*(2), 173–179. https://doi.org/10.1007/s11746-006-1021-5

Nguyen Dang, L., Le Hoang, S., Malin, M., Weisser, J., Walter, T., Schnabelrauch, M., & Seppälä, J. (2016). Synthesis and characterization of castor oil-segmented thermoplastic polyurethane with controlled mechanical properties. *European Polymer Journal, 81*, 129–137. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.05.024

Purwanto, E. (2010). The Synthesis of Polyol from Rice Bran Oil (RBO) through epoxidation and hydroxylation reactions. *Tesis de Maestría*, 73–74. Universidad de Adelaida.

Rangarajan, B., Havey, A., Grulke, E., Culnan, P. (1995). Kinetic parameters of a two-phase model for in situ epoxidation of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemist's Society, 72*, 10, 1161–1169. https://doi.org/10.1007/BF02540983

Ramírez, Y., Meza, R., Luján, M., Castañón, H. (2023) Tesis de Maestría. Biopoliuretanos a partir de residuo avícola. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Rojas-González, A., & Girón-Gallego, E. (2011). Variables de operación en el proceso de transesterificación de grasas animales: Una revisión. *Ingenieria y Universidad, 15*(1), 197–218. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012321262011000100011&lng=en&nrm=iso>.

Rosnah, S., Min, M., Ahmad, A., Mansor, A., & Tiankhoon, L. (2016). Preparation and characterization of Jatropha oil-based Polyurethane as non-aqueous solid polymer electrolyte for electrochemical devices. *Electrochimica Acta, 222*, 293–302. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.10.173

Salimon, J., Abdullah, B., Yusop, R., & Salih, N. (2014). Synthesis, reactivity and application studies for different biolubricants. *Chemistry Central Journal, 8*(1), 1–11. https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-16

Shen, Y., He, J., Xie, Z., Zhou, X., Fang, C., & Zhang, C. (2019). Synthesis and characterization of vegetable oil based polyurethanes with tunable thermomechanical performance. *Industrial Crops and Products, 140,* 111711. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111711

Valero, M., Pulido, J., Ramírez, Á., & Cheng, Z. (2008). Sintesis de poliuretanos a partir de polioles obtenidos a partir del aceite de higuerilla modificado por transesterificación con pentaeritritol. *Quimica Nova, 31*(8), 2076–2082. https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800031.

Zhang, C., Ding, R., & Kessler, M. (2014). Reduction of epoxidized vegetable oils: A novel method to prepare bio-based polyols for polyurethanes. *Macromolecular Rapid Communications, 35*(11), 1068–1074. https://doi.org/10.1002/marc.201400039

Zhang, C., Madbouly, S., & Kessler, M. (2015). Biobased polyurethanes prepared from different vegetable oils. *ACS Applied Materials and Interfaces, 7*(2), 1226–1233. https://doi.org/10.1021/am5071333

Zieglowski, M., Trosien, S., Rohrer, J., Mehlhase, S., Weber, S., Bartels, K., Siegert, G., Trellenkamp, T., Albe, K., & Biesalski, M. (2019). Reactivity of isocyanate-functionalized lignins: a key factor for the preparation of lignin-based polyurethanes. *Frontiers in Chemistry, 7:562*. https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00562

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México) por la beca otorgada a YRR (998227), al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez por el apoyo financiero al proyecto (14162.22P); al Dr. Daniel Castañeda y a la Dra. Teresa Ayora Talavera del CIATEJ-Unidad Mérida por la determinación de la resistencia a la compresión y rigidez.

D O C U M E N T O S
A C A D É M I C O S

Recepción: **Septiembre 6, 2022** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Iniciativas Innovadoras de Emprendimiento Impulsadas en una Universidad Pública de Ciudad Juárez

Innovative entrepreneurial initiatives impulsed at a public University in Ciudad Juarez

—

Ulises Mendoza Arvizo
ulises.Mendoza@uacj.mx
ORCID: 0000-0003-2980-6449

Jesús Alberto Urrutia de la Garza
jesus.urrutia@uacj.mx
ORCID: 0000-0003-2846-4811

Carlos Jesús González Macías
cgonzalez@uacj.mx
ORCID: 0000-0003-2278-8751

Andrea Yelvani Salazar Ibarra
andrea.salazar@uacj.mx
ORCID:0000-0002-2507-1564

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Para citar este artículo:
Mendoza Arvizo, U., Urrutia de la Garza, J. A., González Macías, C. J., & Salazar Ibarra, A. Y. Iniciativas Innovadoras de Emprendimiento Impulsadas en una Universidad Pública de Ciudad Juárez. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a06

RESUMEN

El emprendimiento ha tomado auge desde hace años a la fecha debido a la importancia para el desarrollo económico de las regiones geográficas. Por ello, la educación universitaria es una época apropiada para fomentar en los estudiantes el espíritu emprendedor. El objetivo de este artículo es conocer el concurso de emprendimiento realizado en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Los métodos utilizados fueron la observación e investigación acerca de cómo se implementa este concurso y quienes participan. Los resultados que se encontraron fueron que existe una gran actividad emprendedora por parte de los estudiantes de esta universidad y que los proyectos realizados tienen creatividad e innovación.

Palabras Clave:

Emprendimiento; innovación; educación; universidades; Ciudad Juarez.

— Abstract—

Entrepreurship has taken upswing from several years ago through nowadays due to its importance for economic development on georgraphical regions. Thus, higher education is a proper period to impulse entrepreneur spirit in students. The objective of this article is to acknowledge the entgrepreneurship contest organized by Universidad Autónoma de Ciudad Juarez. The applied methods were observation and research about how this contest is conducted and whom participate. Results shown that it existe a great entrepreneurial activity by the university´s students and that the permormed projects have creativity and innovation.

Keywords:

Entrepreneurship; Innovation; Education; Universities; Ciudad Juarez.

El emprendimiento es parte importante para el desarrollo de las comunidades debido a que representa desarrollo social y económico. La creación de iniciativas de autoempleo son una fuente necesaria e indispensable para auxiliar al bienestar de la sociedad (Segura-Barón *et al*., 2019). En la actualidad, en países latinoamericanos ha tomado gran auge el tema del emprendimiento y diferentes países manifiestan interés como una posible solución a la escasez de ofertas de empleo, lo que ha provocado una alta tasa de crecimiento (Canales *et al*., 2017). Esto es debido a que el emprendimiento representa una oportunidad de crecimiento económico regional debido al capital de inversión y la producción de bienes y servicios resultantes de este proceso (Vargas y Uttermann, 2020).

De acuerdo con Barba-Bayas y Viteri-Ojeda (2016), en los últimos años el emprendimiento ha tomado importancia, tanto en la investigación académica como en la enseñanza. Por ello, las universidades han aumentados sus cursos de emprendimiento, aumentando las posibilidades de que el alumno desarrolle iniciativas de negocio exitosas. De esa manera, las instituciones educativas implementan estrategias para el desarrollo de competencias para el emprendimiento, que permitan a los estudiantes emprender negocios exitosos aprovechando las oportunidades de su entorno (Castro, 2016). Entre los elementos prioritarios para el desarrollo de los proyectos de emprendimiento deben mencionarse la motivación del emprendedor, la identificación de una idea de mercado, la existencia de los recursos y las habilidades y destrezas adquiridas; lo que conduce a la idea de necesidad de educación en emprendimiento (Hidalgo, 2014).

Debido a que la educación es un factor trascendental en los cambios sociales, el emprendimiento se debe considerar como una actitud transversal en diversos aspectos, como el cultural, político y empresarial, que permiten enfatizar el trabajo del emprendedor como un creador de riqueza y trabajo para su comunidad (Rodríguez, 2007).

La globalización mundial y la necesidad de adaptación a estas circunstancias, además de la innovación continua, son algunos de los aspectos que han considerado las instituciones de educación superior para el emprendimiento. De acuerdo con Valdivia-Velasco *et al*. (2019) en México las universidades privadas, debido a su carácter comercial, fueron pioneras en el desarrollo de capacidades de emprendimiento en sus estudiantes, a diferencia de las universidades públicas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Emprendimiento

El emprendedor es un pionero, un personaje diferente por sus capacidades para asumir riesgos, aprovechar crisis, introducir nueva tecnología y crear oportunidades para la innovación (Canales *et al*., 2017). Otros investigadores de la teoría económica deducen que el emprendimiento viene de la palabra *entrepreneur* y se refiere a los aventureros, debido al rol que se desempeña en esta actividad; como lo es el desarrollo de un producto, asumir riesgos, buscar financiamientos, ser creativo y encontrar oportunidades (Jiménez-Silva *et al*., 2019.) De esta manera, se identificaba en dichas personas características propias donde emprendían la construcción de grandes obras. Esta concepción asociada entonces con el concepto de empresa, identificada como aquella actividad económica particular, sobre la producción de un bien o servicio y su equivalente en dinero (García-García, 2015).

Para Farayibi (2015) el emprendimiento es una oportunidad que se presenta para crear productos y servicios nuevos, siendo un proceso importante para el crecimiento económico. También es necesario considerar al emprendimiento como un conjunto de habilidades que posee una persona para gestionar, organizar, innovar y tomar riesgos (Vargas y Uttermann, 2020). Sin embargo, Torres-Vázquez *et al*. (2020) refieren que se debe considerar que el espíritu emprendedor comienza en casa, ya que existe una gran influencia del entorno en que se desenvuelve, fortaleciendo esas habilidades para el emprendimiento.

Actualmente, los emprendedores que se vuelven competentes se desplazan rápidamente creando ventajas estratégicas sobre sus competidores en la economía, creándose oportunidades para que sus empresas se tornen innovadoras y enfrenten de mejor manera aquellas presiones externas que se presentan, saliendo de sus rutinas y zonas de confort para convertirse en solucionadores de problemas creativos y así solidificar en el camino su espíritu emprendedor (Alvarado *et al*., 2021). Así mismo, existe la influencia de la sociedad en donde los emprendedores ven reflejadas diversas necesidades que, en busca de satisfacerlas de manera oportuna, provocan la gestión innovadora de ideas de negocio. A partir de esto, surge el concepto un emprendimiento que "alude a las comunidades en las cuales la población es capaz de generar iniciativas y proyectos innovadores en distintos espacios de actuación y de adaptarse flexiblemente a los cambios en un mundo cada vez más incierto" (Kantis, 2017, p. 121).

Por su parte, Jones *et al*. (2014) resaltan ciertas cualidades de los emprendedores con el desarrollo de la empresa, las cuales empiezan con la capacidad de reconocimiento de oportunidades para desarrollar la idea

de la empresa, seguido de los aspectos organizacionales de los recursos, y añaden que para la permanencia del negocio se debe tomar en cuenta aspectos como la motivación, financiamiento y compromiso. Canales *et al*. (2017) afirman que:

> [...] el proyecto inicia con la identificación y validación de una idea de empresa, que posteriormente precisa organizar factores materiales y humanos; sin embargo, contar con recursos y un concepto innovador, no asegura la permanencia del negocio en el mercado, debido a que éste depende en gran medida, de la motivación y compromiso del emprendedor, aunado a la disponibilidad de financiamiento y un ambiente saludable para el desarrollo empresarial. (p.5).

Esto es porque el desarrollo de un negocio involucra diferentes factores del entorno del emprendedor, tienen relación con su familia, educación y cultura, ya que proveen habilidades, experiencia y conocimientos. Por ello, el emprendimiento debe ser contemplado como una capacidad de estructurar proyectos para mejorar la calidad de vida tanto del emprendedor como de su comunidad (Rodríguez, 2007).

De acuerdo con Canales *et al*. (2017), el emprendimiento se puede contemplar en tres fases:

a) La *inicial*, que es, por una parte, la concepción de la idea y puede influir sobre el individuo desde una perspectiva positiva que incluye los deseos de realización; y por otra, una visualización negativa que busca el emprendimiento para enfrentar el desempleo, frustración y necesidad de sobrevivir.
b) La *intermedia*, son los factores que convierten a una persona en emprendedor potencial como lo son: las relaciones personales y el ambiente familiar, cultural, social y educativo.
c) La *última*, contempla las acciones y la obtención de recursos para desarrollar el proyecto.

En lo referente a los objetivos personales que provocan a los individuos a convertirse en emprendedores, se pueden considerar varios, uno de los más importantes es la motivación, la cual puede desarrollarse a través del tiempo. Estar rodeado de actitudes positivas es uno de los factores más importantes dentro del proceso de emprendimiento. “La motivación será el motor que promueva el desarrollo del emprendimiento ya que definirá el para qué entregamos nuestro esfuerzo y el de los demás” (Yépez *et al*., 2019, p. 28). Marulanda *et al*. (2014) señalan otros factores que deben considerarse: la originalidad, la moderada aversión al riesgo, la aceptación de responsabilidades, la perseverancia, la autoconfianza, el deseo por

aprender y la planificación de metas a largo plazo. Un aspecto importante más, señalado por Canales *et al*. (2017), es la motivación por emprender, un motivo preponderante son ingresos, independencia económica y la satisfacción personal. Suarez *et al*. (2020) afirman al respecto: "Entre los motivos para emprender se detecta un predominio de aquellos que adquieren un carácter intrínseco, que tienen que ver con la autorrealización y la superación y crecimiento personal-profesional" (p. 181).

El emprendedor mostrará entonces un desempeño satisfactorio por medio de los motivadores antes mencionados, que será lo que le impulsará a seguir ante cualquier obstáculo, le ayudarán a realizar las actividades de manera que, metodológicamente, logre conseguir el objetivo esperado, además de poner su esencia en todo el proceso, lo que le ayudará aún más a ser exitoso. "Las actitudes que los jóvenes tienen sobre sí mismos son un factor importante pues van a determinar sus expectativas, motivaciones, toma de decisiones y, en definitiva, su comportamiento" (Santos *et al*., 2015, p. 130).

2.2. La universidad y el emprendimiento

La concientización de la importancia del emprendimiento es una labor que se debe atender a diario. En las universidades es prioridad resaltar el hecho de que las nuevas empresas promueven crecimiento económico de un territorio, debido a la creación de nuevos empleos y el aumento de los ingresos procedentes del pago de los impuestos, el incremento de las exportaciones y un aumento de la productividad, (Pérez y Solíz, 2020). "El emprendimiento es un importante vehículo para el crecimiento y desarrollo económico de los países y los jóvenes son quienes suelen liderarlo" (Kantis, 2017, p.120).

Por su parte, Vargas y Uttermann (2020) señalan la importancia de la educación para impulsar el espíritu emprendedor en los jóvenes para desarrollar nuevos emprendedores y, con ello, impulsar el crecimiento económico y la generación de empleos. A su vez, Aboobaker y Renjini (2020) aluden que la educación empresarial tiene una relación significativa en el desarrollo de actitudes positivas para que lo estudiantes emprendan. Así mismo, Vélez *et al*. (2020) señalan que la educación empresarial ayuda al desarrollo de competencias, habilidades, actitudes y valores del espíritu emprendedor.

Berbetti (2015) refiere que la falta de conocimiento de los mercados en los que se pretende incursionar, la insuficiencia de acciones de capacitación sin un acompañamiento y asesoría permanente después de comenzado el proceso, aunado a las restricciones presupuestarias y las dificultades para mantener el financiamiento, requerido al inicio de las experiencias, aparecen como los factores que, frecuentemente, obstaculizan los logros y llevan a la baja sobrevivencia de los emprendimientos.

En la actualidad, la sociedad es más competitiva y requiere más emprendedores. Por lo cual, las universidades son esenciales para la formación de profesionales con competencias cognitivas que desarrollen capacidades para la implementación de emprendimientos innovadores y sostenibles (Jiménez *et al*., 2019). García *et al*. (2018) argumentan que "los servicios de apoyo y capacitación empresarial son primordiales en la creación de empresas, no obstante, la falta de acceso a dichos servicios lleva al emprendedor a imitar ideas ajenas" (p. 92).

El conocimiento es una parte fundamental en el emprendimiento porque ayuda a la transformación de ideas en productos o servicios y que estos sean promovidos en un mercado local, nacional o internacional (Pérez y Solíz, 2020). Además, el emprendimiento conlleva procesos y actividades que se realizan para descubrir, definir y aprovechar las oportunidades que permiten generar riqueza con la creación de empresas innovadoras (Zahra *et al*., 2009). Por su parte, Bravo *et al*. (2021) refieren al emprendimiento desde un enfoque cognitivo, debido a que comprende las intenciones y percepciones. Según este enfoque, todo lo que se realiza conlleva un proceso mental que involucra la motivación, precepción y actitud.

Para Osorio y Pereira (2011), una buena práctica educativa para el emprendimiento es la que desarrolla en los estudiantes habilidades, atributos y actitudes, no solo la comprensión de los principios, prácticas y estrategias de los negocios. Es decir, el aprendizaje debe acompañar al emprendedor a que observe su comportamiento a través del entorno. Por lo anterior, resulta preponderante la relación del emprendimiento y la Universidad, debido a la causalidad de la aplicación de estos conocimientos. Es decir, en la medida que los conocimientos se lleven a la práctica es cómo las universidades concretan su labor en el desarrollo social y económicos de las comunidades (Segura-Barón *et al*., 2019).

En la educación universitaria sevdebe fortalecer las capacidades cognitivas del estudiante para reconocer las oportunidades. Por ello, de acuerdo con Jiménez *et al*. (2019), aquellas actividades cognitivas a las cual se les debería prestar una mayor atención en el estudio del emprendimiento son la identificación y el reconocimiento de oportunidades, ya que estas son el preámbulo en el proceso de emprendimiento.

En la educación es prioridad desarrollar competencias, que se deben entender como un saber dentro de un contexto determinado, lo que implica el desarrollo de habilidades, capacidades y conocimientos, para hacer uso de ellos en el entorno donde se desenvuelva (Rodríguez, 2007). Por su parte, Valdivia-Velasco *et al*. (2019) consideran que las habilidades emprendedoras se pueden aprender, así que las universidades desempeñan un rol importante en la enseñanza de estas características y el desarrollo del espíritu emprendedor.

Por ello, la tendencia de las universidades es impulsar proyectos o eventos donde se desarrollen las competencias de emprendimiento en los jóvenes alumnos. Torres (2015) menciona que "Los jóvenes tienen mayor probabilidad de ser emprendedores que los no-jóvenes, debido a que factores socioculturales y psicológicos de autoconfianza, modelos de referencia y estigma social al fracaso parecen afectar menos a los individuos jóvenes" (p. 138).

La etapa universitaria es una de las más importantes, es el surgimiento de todos los planes futuros de los jóvenes, en especial de emprendimiento, siendo la universidad un organismo de formación que guía a los jóvenes a un mejor futuro, y no solo a encontrar un empleo donde paguen bien, sino a ser su propio jefe y obtener sus propios ingresos a través de una idea negocio (Espejo y Espíndola, 2015).

2.3. Emprendimiento y desarrollo económico y social

La apertura de nuevas empresas involucra características orientadas a aprovechar la creatividad y oportunidades del entorno. Con la creación de empresas se busca impulsar el empleo, la innovación y el crecimiento (Fuentelsaz y González, 2015). Por lo cual, el emprendimiento es un proceso que se desarrolla dentro de un entorno particular y es realizado por personas con motivaciones y competencias. De acuerdo con Díaz (2017), este proceso se desarrolla en tres etapas:

a) La *primera* es la concepción del emprendedor potencial, búsqueda de oportunidades e ideas.
b) La *segunda* es la del emprendedor naciente con un negocio en formación, para convertirse en gestor de su nuevo negocio.
c) La *tercera* consolida la figura del emprendedor establecido.

Para realizar emprendimientos exitosos es deseable contar con diferentes competencias, compuestas por aspectos personales, organizativos y tecnológicos. Estas se conforman con las actitudes, visión, valores, recursos, conocimientos, capacidades, habilidades y experiencias. La formulación de estas competencias se da en conjunto con el capital intelectual y humano, y ayudan a que el emprendimiento tenga mayor probabilidad de éxito (Pérez y Solíz, 2020).

Debido a lo anterior, los emprendedores que atiendan las necesidades reales de la población de forma rentable serán los que tengan mayores probabilidades de prosperar en el futuro. Por ello, el emprendimiento debe de entenderse como un proceso de descubrimiento, creación y explotación de oportunidades, con el fin de ofrecer productos y servicios para obtener

un beneficio económico (Chirinos *et al*., 2018). Además, el emprendimiento contiene procesos y actividades para descubrir, definir y aprovechar las oportunidades que permiten mejorar la riqueza social mediante la creación de empresas (Zahra *et al*., 2009).

Marulanda y Morales (2016) señalan que existen diversos factores para que se realice la creación de una empresa, siendo los más importantes las aspiraciones del emprendedor, sus competencias (el saber cómo), los recursos con que cuenta y el entorno, que es el ambiente donde se va a desarrollar. Aunque existen otros factores para que la empresa tenga sostenibilidad como el mercado, tamaño de la empresa, competencia, nivel de crecimiento, costo y endeudamiento (Sepúlveda y Gutiérrez, 2016).

A su vez, el emprendimiento está relacionado con la innovación, por lo cual, los emprendedores deben desarrollar estrategias y actitudes de riesgo, creatividad, autoconfianza y visión. Con lo anterior y las necesidades del entorno se busca producir cosas nuevas, bajo la premisa de la rentabilidad y sostenibilidad (Castro, 2016). Por esto, Barba-Bayas y Viteri-Ojeda (2016) señalan que existen personas que nacen con una capacidad emprendedora, pues desde pequeños demuestran una capacidad de innovar y asumir riesgos.

Como señalan Vernanza *et al*. (2020), en la actualidad emprender un proyecto innovador tiene muchas probabilidades de tener éxito, muchos emprendedores desarrollan emprendimientos con amplias ventajas competitivas que les ofrece la tecnología. Por ello, la innovación y el emprendimiento se encuentran relacionados. Es decir, los emprendedores ven en la tecnología una herramienta de ser más competitivos y lograr la sostenibilidad.

Díaz-Casero *et al*. (2013) señalan que es importante considerar la región donde se va a implementar el emprendimiento, como un factor importante para el éxito de la empresa; debido a que, en las economías desarrolladas es más viable ejecutar un proyecto de emprendimiento y que este tenga éxito, y por el contrario, en los países con economías emergentes la viabilidad se ve reducida. Así mismo, Vargas y Uttermann (2020) afirman que en los países con economías fuertes los emprendimientos se realizan con relativa facilidad y a los emprendedores se les tiene como personas visionarias, al contrario de los países en vías de desarrollo donde los emprendimientos son muy pocos y solo se realizan por necesidad. Mendoza *et al*. (2020) señalan que en los países en desarrollo los emprendimientos no se realizan por convicción sino por necesidad, debido a las dificultades que representa, como los bajos niveles de innovación, falta de dinero, mercado escaso y la relación precio/costo.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez cuenta con una instancia denominada Oficina de Desarrollo Empresarial, la cual trabaja con docentes que forman parte de la Academia Transversal de Emprendimiento, con el cometido de implementar un concurso denominado EMPRENDIZATE-UACJ, que se lleva a cabo cada semestre. La finalidad de este evento es impulsar la cultura emprendedora dentro de los estudiantes, para distinguir las ideas innovadoras y los proyectos de negocios que se trabajan en distintas clases de la institución. Con este concurso se pretende impulsar el desarrollo de empresas en la región, los proyectos participantes se caracterizan por contener innovación, creatividad y sustentabilidad. Este evento promueve el ambiente para que estudiantes, emprendedores y empresarios convivan e intercambien experiencias como en la evaluación de un proyecto, en la retroalimentación de las debilidades y fortalezas de cada proyecto. Además, este encuentro se realiza por medio de una convocatoria dirigida a todos los estudiantes de pregrado de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del registro de su proyecto dentro de alguna de las tres categorías, como se aprecia en la Tabla 1.

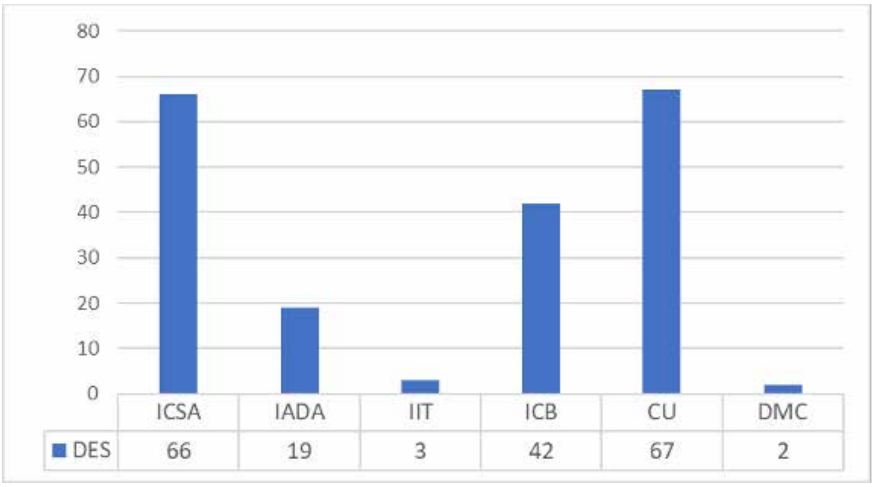
Tabla 1
Categorías de los proyectos

Categoría	Descripción
Tradicional	Son aquellos proyectos que tienen por objetivo la comercialización y distribución de algún producto o servicio.
Tecnológica	Este tipo de proyectos es la creación, modificación o adaptación de un producto tangible gracias al empleo de la tecnología.
Social	Son los proyectos cuyo modelo de negocio tiene como objetivo mejorar, solucionar o eliminar problemáticas o necesidades sociales.
Artística	Esta categoría tiene por objeto el desarrollo de proyectos con tendencias a fomentar, promocionar, desarrollar, difundir y valorar proyectos artísticos y culturales.

Nota. Elaboración propia.

En el 2021, por cuestiones de COVID-19, se realizó una edición virtual del EMPRENDÍZATE-UACJ. Por medio de una convocatoria se invita cada semestre a los alumnos a participar. Primeramente, a través de los docentes con el reconocimiento de ideas y modelos de negocios innovadores desarrollados por sus estudiantes. Cuando se lanza la convocatoria, se postulan los proyectos y se seleccionan aquellos con mayor innovación y pertinencia. Los proyectos pueden participar dentro de una de las cuatro categorías mencionadas en la Tabla 1.

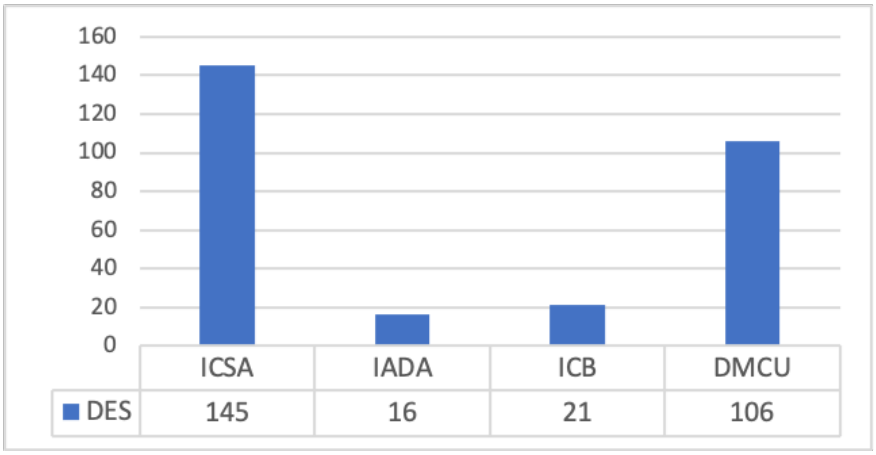
En el semestre 2021-1 (enero-junio) participaron un total de 197 estudiantes (ver Figura 1).



Nota. Elaboración propia.

Figura 1. Participación de estudiantes, semestre 2021-1

En el semestre 2021-2 (agosto-diciembre) participaron un total de 288 estudiantes, como se observa en la Figura 2.



Nota. Elaboración propia.

Figura 2. Participación de estudiantes, semestre 2021-2

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por el número de estudiantes que inscribieron sus proyectos a los concursos de ambos semestres, se denota un gran interés por parte de ellos para generar y desarrollar un negocio viable, además de que se percibe la influencia de

la inercia embebida de la sociedad, donde estos jóvenes universitarios emprendedores ven proyectadas las posibilidades, desde una óptica tangible, de satisfacer sus diversas necesidades, provocando e incentivando la gestión de sus ideas de negocio. A partir de esto surge el concepto de sociedad emprendedora que "alude a las comunidades en las cuales la población es capaz de generar iniciativas y proyectos innovadores en distintos espacios de actuación y de adaptarse flexiblemente a los cambios en un mundo cada vez más incierto" (Kantis, 2017, p. 121).

Los números de estudiantes universitarios interesados en ingresar sus proyectos a los concursos identifican en ellos su espíritu emprendedor, el cual es capaz de emerger y desarrollarse en un adecuado ambiente que le permite ver de manera clara que es el momento preciso para el desarrollo de esa idea y que, con el seguimiento y acompañamiento adecuados todos sus objetivos pueden llevarse a cabo. Esto, corroborando lo que aseveran Canales *et al*. (2017, p. 5):

> [...] el proyecto inicia con la identificación y validación de una idea de empresa, que posteriormente precisa organizar factores materiales y humanos; sin embargo, contar con recursos y un concepto innovador, no asegura la permanencia del negocio en el mercado, debido a que éste depende en gran medida, de la motivación y compromiso del emprendedor, aunado a la disponibilidad de financiamiento y un ambiente saludable para el desarrollo empresarial.

A lo largo del desarrollo de estos concurso se han podido identificar aquellos factores influyentes en el deseo de emprendimiento de estos jóvenes universitarios, entre los cuales destaca el que su proyecto se desarrolle en un ambiente de apoyo y asesoría que, a pesar de que las circunstancias actuales en la ciudad puedan volver difícil, posea todas las oportunidades de fortalecer el negocio; a esto se le debe abonar otro factor identificado, el cual es la buena actitud por parte de los jóvenes universitarios emprendedores, lo que vuelve la mezcla perfecta para tener el crecimiento y avance esperado. Si estos jóvenes universitarios tienen claro el alcance de hasta dónde podrían llegar, se desarrollará en ellos la motivación adecuada para crear y generar un negocio fuerte, y que todo su trabajo y esfuerzo realizados durante el tiempo invertido valga la pena.

5. CONCLUSIONES

Una de las cuestiones más importantes que se abordan sobre el emprendimiento es el desarrollo económico que detona en las regiones, por medio de las fuentes de empleo que este genera. Sin embargo, para que los emprendedores generen estas fuentes de empleo, su proyecto primero debe ser rentable y sostenible.

Por ello, las universidades juegan un papel importante en el desarrollo de jóvenes emprendedores que puedan crear estas empresas.

Una de las cuestiones prioritarias es que las universidades deben enfocarse a transmitir los diferentes tipos de emprendimientos, también las diferencias entre emprender por necesidad o por entusiasmo. El emprendimiento que se desarrolla por necesidad está enfocado como una estrategia de autoempleo, y debe tener bases de concomimiento para garantizar la competitividad y sostenibilidad del proyecto. El segundo se desarrolla con base en las actitudes, habilidades y, sobre todo, al entusiasmo por emprender.

Otro de los aspectos fundamentales para impulsar los proyectos de emprendimiento es que se les brinde un seguimiento adecuado, es decir, que la empresa propuesta no quede solamente plasmada en un papel como un simple proyecto. Debido a esta razón, los concursos de emprendiendo, las incubadoras y aceleradoras de negocios son vitales para el desarrollo y sostenibilidad de los proyectos. Como lo sugiere Barba-Bayas y Viteri-Ojeda (2016), un proyecto de vida en los estudiantes emprendedores es importante para que se visualicen como futuros emprendedores exitosos y puedan superar la frase del “no se puede”.

Por otra parte, en los diferentes proyectos de emprendimiento desarrollados por estudiantes universitarios se puede observar creatividad e innovación aplicados a la solución de diversos problemas que se enfrentan en las diferentes entidades. Por el contrario, se nota un desabasto en las publicaciones por parte de los académicos acerca de emprendimiento en México, lo cual abre una ventana de oportunidad para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

Aboobaker, N., & Renjini, D. (2020). Human capital and entrepreneurial intentions: do entrepreneurship education and training provided by universities add value? *On the Horizon, 28*(2). 73-83. DOI: http://dx.doi.org/10.1108/OTH-11-2019-0077.

Alvarado, D., Barreto, R., & Baque, M. (2021). Emprendimiento e innovación del sector microempresarial ecuatoriano durante la pandemia covid-19. *Polo del Conocimiento, 6*(3), 2145-2164. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926942.

Barba-Bayas, D., & Viteri-Ojeda, J. (2016). Emprendimiento Generador Solidario: Aprender Haciendo. *Revista Ciencia Unemi, 18*(9), 35-44. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663825006.

Barbetti, P. A. (2015). *Autoempleo y micro-emprendimientos juveniles: una caracterización de las actuales políticas laborales y sociales orientadas a su promoción*. Documentos de conferencia, Universidad Nacional del Nordeste. http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/1551.

Bravo, I. F., Bravo, M. X., Preciado, J. D., & Mendoza, M. (2021). Educación para el emprendimiento y la intención de emprender. *Revista Economía y Política, 33*(1), 139-155. DOI: http://dx.doi.org/10.25097/rep.n33.2021.08.

Canales, R. A., Roman, Y. G., & Ovando, W. (2017). Emprendimiento de la población joven en México. Una perspectiva crítica. *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento, 5*(12). DOI: http://dx.doi.org/10.21933/J.EDSC.2017.12.211.

Castro, L. C. (2016). Programa para el Desarrollo de Competencias en Emprendimiento Sostenible. *Revista Scientific, 1*(2), 147-161. DOI: 10.29394/scientific.issn.2542-2987.2016.1.2.9.147-161.

Chirinos, Y. V., Meriño, V. H., & Martínez, C. (2018). El clima organizacional en el emprendimiento sostenible. *Revista EAN, 84*(1), 43-61. DOI: http://dx.doi.org/10.21158/01208160.n84.2018.1916.

Díaz-Casero, J., Almodóvar, M., Sánchez, M., Coduras, A., & Hernández-Mogollón, R. (2013). Institutional variables, entrepreneurial activity and economic development. *Management Decision, 51*(2), 281-305. DOI: https://doi.org/10.1108/00251741311301821.

Díaz, I. (2017). Emprendimiento en Cuba: análisis sobre su desenvolvimiento. *Revista del CESLA, 20*(1), 325-340. https://www.revistadelcesla.com/index.php/revistadelcesla/article/view/446/411.

Espejo, A., & Espíndola, E. (2015). La llave maestra de la inclusión social juvenil: educación y empleo. En Trucco, D. y Ullmann, H. (Eds.). *Juventud: realidades y retos para un desarrollo con igualdad*. CEPAL.

Farayibi, A. O. (2015). *Entrepreneurship as a Driver of Economic Growth: Evidence from Enterprise Development in Nigeria*. Centre for Allied

Research and Economic Development (CARED). DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.2852865.

Fuentelsaz, L., & González, C. (2015). El fracaso emprendedor a través de las instituciones y la calidad del emprendimiento. *Universia Business Review, 47*(1), 64-81. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43341001004.

García-García, V. D. (2015). Emprendimiento Empresarial Juvenil: Una evaluación con jóvenes estudiantes de universidad. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud, 13*(2), 1221-1236. DOI: http://dx.doi.org/10.11600/1692715x.13246200315.

García, M., Zerón, F., & Sánchez, Y. (2018). Factores de entorno determinantes del emprendimiento en México. *Entramado, 14*(1),88-103. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265457559007.

Hidalgo, L. F. (2014). La Cultura del Emprendimiento y su Formación. E*studios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 3*(2), 1-8. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552357189003.

Jiménez-Silva, W., Larrea-Altamirano, J., Navarrete-Fonseca, M., & Castro-Ayala, E. (2019). Emprendimientos innovadores a partir de competencias cognitivas en estudiantes universitarios. *Revista Venezolana de Gerencia, 24*(85). https://www.redalyc.org/journal/290/29058864004/html/.

Jones, K., Sambrook, S., Pittaway, L., Henley A., & Norbury, H. (2014). Action Learning: How Learning Transfers from Entrepreneurs to Small Firms. *Action Learning: Research and Practice, 2*(11), 131-166. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/14767333.2014.896249.

Kantis, H. (2017). La promoción del emprendimiento juvenil: su importancia para América Latina. *Pensamiento iberoamericano, 1*, 120-130. https://segib.org/wp-content/uploads/013-HK.pdf.

Mendoza, J. A., Muñoz, D., Sánchez, A. F., & Usme, A. R. (2020). Emprendimiento en tiempos difíciles: una oportunidad para jóvenes. *Utopía y Praxis Latinoamericana, 25*(11), 164-174. DOI: http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.4278342.

Marulanda, F. A., Montoya, I. A., & Vélez, J. M. (2014). Teorías motivacionales en el estudio del emprendimiento. *Pensamiento y Gestión*, (36), 206-238. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-62762014000100008.

Marulanda, F. Á., & Morales, S. T. (2016). Entorno y motivaciones para emprender. *Revista Escuela de Administración de Negocios, 81*(1). 12-28. DOI: http://dx.doi.org/10.21158/01208160.n81.2016.1556.

Osorio, F., & Pereira, F. (2011). Hacia un modelo de educación para el emprendimiento: una mirada desde la teoría social cognitiva. *Cuadernos de administración, 24*(43), 13-33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922011000200002.

Pérez, D., & Solíz, M. (2020). Determinación de la incidencia del capital intelectual en el emprendimiento territorial. Caso Yaguajay. *Economía y Desarrollo, 163*(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0252-85842020000100003&script=sci_arttext&tlng=en.

Rodríguez, L. F. (2007). Emprendimiento y Asociatividad como herramienta de desarrollo social para la educación media. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 4*(3). 65-89. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409634347005.

Santos, D., Requero, B., Cancela, A., & Pedrazzo, A. (2015). Juventud proactiva: Cómo crear unas actitudes fuertes y positivas hacia el emprendimiento. *Revista de estudios de juventud, 107*, 125-147. https://repositorio.uam.es/handle/10486/677044.

Segura-Barón, U., Novoa-Matallana, H. A., & Burbano-Pedraza, M. C. (2019). Hacia un modelo educativo para el emprendimiento. *Revista EAN, 87*(1), 173-191. DOI: http://dx.doi.org/10.21158/01208160.n87.2019.2420.

Sepúlveda, C. I., & Gutiérrez, R. (2016). Sostenibilidad de los emprendimientos: Un análisis de los factores determinantes. *Revista Venezolana de Gerencia, 73*(21), 33-49. https://www.redalyc.org/journal/290/29045347003/.

Suarez, M., Sánchez, M., & Soto, M. (2020). Desarrollo de la carrera emprendedora: Identificación de perfiles, competencias y necesidades. *Revista Complutense de Educación, 31*(2), 173-184. https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/196652.

Torres, R. M. (2015). Estímulo a la creatividad y emprendimiento joven para la innovación social en un contexto global. *Revista de estudios de juventud*, (109), 127-145. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/53448.

Torres-Vázquez, K. F., Erazo-Álavarez, J. C., Narvaez-Zurita, C. I., & Moreno, V. P. (2020). El emprendimiento juvenil en función al perfil psicosocial y las condiciones del entorno familiar. *Revista Arbitrada multidisciplinaria Koinonia, 5*(10), 729-752. DOI: http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v5i10.714.

Valdivia-Velasco, M., Coronado-Guzmán, G., & Aguilera-Dávila, A. (2019). Emprendimiento en las universidades públicas mexicanas: Estudio bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia, 2*(1). https://www.redalyc.org/journal/290/29063446024/.

Vargas, M. A., & Uttermann, Ro. (2020). Emprendimiento: factores esenciales para su constitución. *Revista Venezolana de Gerencia, 90*(25). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29063559024.

Vélez, C., Bustamante, M., Loor, B., & Afcha, S. (2020). La educación para el emprendimiento como predictor de una intención emprendedora de estudiantes universitarios. *Formación Universitaria, 13*(2). 63-72. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000200063.

Vernaza, G., Medina, E. P., & Chamorro, J. (2020). Innovación, emprendimiento e investigación científica. *Revista de Ciencias Sociales, 26*(3), 163-174. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28063519006.

Yépez, M., Frías, E., & Asunción, R. (2019). Innovación y emprendimiento como nuevo reto del siglo XXI en la sociedad. *Veritas & Research, 1*(1), 35-44. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Innovaci%C3%B3n+y+emprendimiento+como+nuevo+reto+del+siglo+XXI+en+la+sociedad&btnG=.

Zahra, S., Gedajlovic, E., Neubaum, D., & Shulman, J. (2009). A typology of social entrepreneurs: Motives, search processes and ethical challenges. *Journal of business venturing, 24*(5), 519-532. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2008.04.007.

Recepción: **Septiembre 5, 2022** | Aceptación: **Octubre 13, 2023** | Publicación: **Febrero 1, 2024**

Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica

Improving Energy Storage Conditions through Supercapacitor Banks: A Bibliographical Review

—

Javier López Karen Guadalupe • karen.jalk29@gmail.com
ORCID 0000-0003-4595-7386

Méndez Ascencio Pablo Enrique • pablomendezascencio@gmail.com
ORCID 0000-0002-2896-1394

Mirabal Aguilar Ana Gabriela • anagabriela.mirabal.a@gmail.com
ORCID 0000-0002-5543-889X

Vázquez Olán Lila Yazmín • lyvazquezo99@gmail.com
ORCID 0000-0002-2963-0167

Olán Ramos Manuel • manuel.olan@comalcalco.tecnm.mx
ORCID 0000-0001-9980-9165

Tecnológico Nacional de México campus Comalcalco, División de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica Comalcalco, Tabasco, México

Para citar este artículo:
Javier López, K. G., Méndez Ascencio, P. E., Mirabal Aguilar, A. G., Vázquez Olán, L. Y., & Olán Ramos, M. Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 13*(35). https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a07

RESUMEN

En este trabajo de revisión bibliográfica se presenta la recopilación de diversos estudios realizados en los cuales destacan los temas de sistemas de almacenamiento de energía, Supercapacitores (SC´s), bancos de supercapacitores y matrices de conmutación, que se consideran elementales para el futuro de los sistemas eléctricos. Los sistemas de almacenamiento permiten tener un resguardo cuando las líneas de alimentación de energía eléctrica fallan o no son lo suficientemente eficientes y tienen diversas clasificaciones que cambian en función de los tipos y necesidades de los sistemas. Aunado a esto, se describen, de manera general, los supercapacitores, tipos y aplicaciones, además de las características que los posicionan como mejor opción de almacenamiento que las baterías, en la búsqueda de plantear las bases para el desarrollo de bancos de supercapacitores y las matrices de conmutación. Los primeros ayudan a potenciar las características de los supercapacitores mediante diversos arreglos eléctricos; mientras que los segundos son una propuesta para controlar los cambios de los bancos de supercapacitores en la búsqueda del control de parámetros eléctricos.

Palabras Clave:

Supercapacitores; sistemas de almacenamiento de energía; biomasa; matriz de conmutación; banco de supercapacitores.

— Abstract—

This literature review work presents the compilation of various studies in which the topics of energy storage systems, supercapacitors (SC´s), supercapacitor banks and switching matrices, which are considered elementary for the future of electrical systems, stand out. The storage systems allow to have a backup when the power supply lines fail or are not efficient enough, and have different classifications, which change depending on the types and needs of the systems. In addition to this, supercapacitors, types and applications are described in general, as well as the characteristics that position them as a better storage option than batteries, in order to lay the foundations for the development of supercapacitor banks and switching matrices; the former help to enhance the characteristics of supercapacitors through different electrical arrangements, while the latter are a proposal to control the changes of supercapacitor banks in the search for control of electrical parameters.

Keywords:

Supercapacitors; energy storage systems; biomass; switching matrix; supercapacitors bank.

La industria eléctrica ha evolucionado de manera exponencial en las últimas décadas, automatizando la mayoría de los procesos y buscando reducir el impacto ambiental, brindando mayor control en los procesos industriales al desarrollar sistemas de respaldo de energía. Los sistemas de almacenamiento de energía se han convertido en temas novedosos de investigación, con la finalidad de producir y suministrar electricidad cuando se presentan periodos de desconexión de las redes convencionales o para mejorar la respuesta del sistema. Es importante resaltar que en el almacenamiento de la energía encontramos dos clasificaciones generales: medios directos como baterías y medios indirectos incluidos los Supercapacitores y capacitores convencionales. Estos sistemas se distinguen por el control de parámetros como densidad de energía y potencia, eficiencias en los ciclos de carga y descarga de la energía y los ciclos de vida de los sistemas de almacenamiento (Reveles, 2013).

Según investigaciones de Reveles (2013), no todos los dispositivos de almacenamiento son eficientes para todo tipo de sistemas, dado que "los parámetros fundamentales que tenemos que considerar son cuánta energía puede almacenar y qué tan rápido puede entregar dicha energía" (Reveles, 2013, p. 29).

La alta demanda de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica se ha convertido en una de las principales metas en materia de ciencia e ingeniería, buscando obtener sistemas de almacenamiento cada vez más eficientes y amigables con el medio ambiente. En las últimas décadas, el sistema de almacenamiento más utilizado han sido las baterías. Sin embargo, su impacto ambiental es muy elevado y no proporciona la eficiencia suficiente a los sistemas, debido a que sus ciclos de carga y descarga son menores en comparación con otros dispositivos y, además, no entregan las características de potencia que se necesitan en la mayoría de los casos.

Atribuido a lo anterior, comenzaron a analizarse alternativas mucho más eficientes como lo fue el uso de capacitores y el posterior desarrollo de los SC's.

Los primeros son dispositivos formados por dos conductores y separados por una solución dieléctrica, con pH ácido; mientras que los segundos constan de dos electrodos porosos impregnados en un electrolito y aislados de contacto eléctrico por un papel separador; almacenan energía por el principio de doble capa electroquímica formada en la interface electrodo/electrolito, de los cuales centraremos la revisión. Los SC's se clasifican en tres tipos: doble capa electroquímica (EDLC), pseudocapacitores (Ps) e híbridos (Olán *et al.*, 2021).

Es imprescindible destacar que al contener características similares a las baterías, en lo que respecta al manejo de la energía, ha sido necesario el desarrollo de arreglos que ayuden a mejorar los parámetros eléctricos en los sistemas. A su vez, se han sometido a estudios el desarrollo de Supercapacitores que utilicen como componentes biomasa, con la intención

de aprovechar los desechos de ciertos productos como el coco, café, cacao, bambú y arroz, proponiendo así estrategias de almacenamiento novedosas y con un reducido impacto ambiental en consideración a los comerciales.

El objetivo de este documento de revisión bibliográfica es presentar el desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras para el almacenamiento de energía, así como su impacto ambiental comparadas con las baterías convencionales, documentando información acerca de los supercapacitores apoyándose en los estudios de otros autores plasmados en artículos y tesis.

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Los sistemas de almacenamiento de energía se caracterizan por la cantidad de energía que almacenan, la potencia máxima que suministran y los tiempos de respuesta de los procesos de carga/descarga relacionados con su funcionamiento, como se muestra en la Tabla 1. Atendiendo a estos parámetros se puede hablar de sistemas de almacenamiento a gran escala, sistemas de distribución y sistemas de potencia (Díaz, 2016).

Tabla 1

Clasificación y características generales de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con la cantidad de energía que almacenan

Tipos de sistemas de almacenamiento de energía	Características
Sistemas de almacenamiento a gran escala	Son capaces de almacenar energías comprendidas entre 10 y 8000 MWh y suministrar potencias de entre 10 y 1000 MW con unos tiempos de descarga comprendidos entre 1 y 8 horas.
Sistemas de distribución	Los valores de energía y potencia oscilan entre 50 a 8000 kWh y 100 a 2000 kW respectivamente, disminuyendo los tiempos de descarga a la mitad respecto a los anteriores.
Sistemas de potencia	Caracterizados por valores de energía comprendidos entre 0.03 a 17 kWh, potencias de 0.1 a 2 MW y tiempos de descarga de 1 a 30 segundos.

Nota. Díaz, 2016.

Este tipo de sistemas también pueden clasificarse atendiendo al tipo de energía que almacenan como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

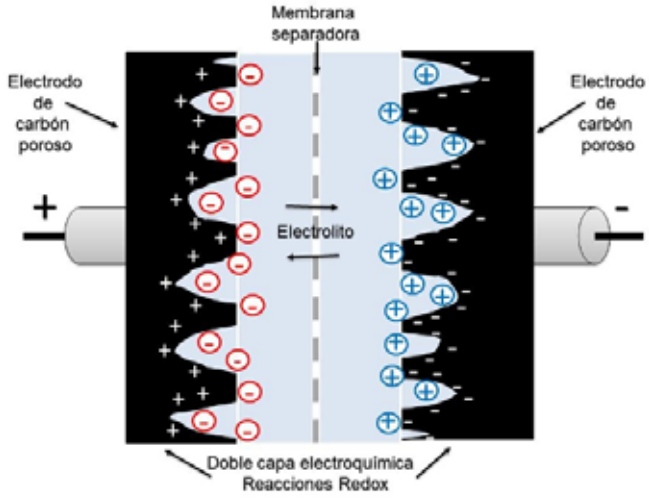
Sistemas de almacenamiento distribuidos, de acuerdo con el tipo de energía que resguardan

Tipos de sistemas de almacenamiento	Características de los sistemas
Energía eléctrica de forma indirecta	- En forma de energía mecánica, como los sistemas de bombeo hidráulico (PHES), los sistemas de aire comprimido (CAES) y los volantes de inercia. - En forma de energía química, como en el caso de las baterías (Mírez, 2012).
Energía eléctrica de forma directa	Como las bobinas superconductoras (SMES) y los supercapacitores (Olán, 2020).

Nota. Es importante conocer el medio de almacenamiento para poder establecer el más óptimo de aplicar de acuerdo a las necesidades de alimentación energética del sistema.

Supercapacitores

Los supercapacitores son dispositivos de almacenamiento de energía que se han convertido en un foco de atención para la ciencia, esto debido a que muestran una mayor eficiencia al suministrar energía eléctrica y proveer alimentación a diversos sistemas, basado en fuerzas electrostáticas (Olán *et al*., 2021). Estos dispositivos contienen dos electrodos sumergidos en un electrólito separados por un material semipermeable, en la búsqueda de reducir la presencia de cortocircuitos sin afectar el traslado de los iones del medio electrolítico (Figura 1). Cuando se les aplica una diferencia de potencial se crea una diferencia de densidad de carga entre sus placas y los iones migran hacia la superficie de los electrodos adsorbiéndose en la región interfacial. No obstante, es importante mencionar que estos dispositivos requieren electrodos fabricados con materiales de elevada área específica, de forma que aumente la capacidad de acumular carga, además de una estructura porosa que brinde mayor área superficial y facilite las condiciones de desplazamiento de los iones en el electrolito (Olán, 2020).



Nota. (Olán, 2020, p.20).

Figura 1. Representación del comportamiento interno de un supercapacitor

Estos dispositivos están formados en su mayoría de forma comercial de carbón activado que actúan como electrodos, los cuales se polarizan y están separados por un ion-permeable que separa los electrodos en la búsqueda de evitar la presencia de corto circuitos entre las placas; además contiene una solución electrolítica formando una distribución de carga a lo largo de la superficie de contacto entre el carbón y el electrolito (Muñoz, 2020).

Un detalle a considerar respecto a los SC's como sistemas de almacenamiento es que la extracción de energía en estos dispositivos es más exigente en comparación de las baterías; esto debido a que cuando los SC's han entregado solo el 75 % de su energía, su voltaje ya ha disminuido al 50 %. Aunque el SC tiene una mayor densidad de potencia, un ciclo de vida más prolongado y una mayor eficiencia de descarga/carga que una batería, un tiempo de carga más rápido, una ventana de temperatura de operación más amplia y una resistencia interna más baja, pero debido a su baja densidad de potencia, reportan una eficiencia máxima de utilización de energía solo del 75% (Reveles-Miranda *et al.*, 2017).

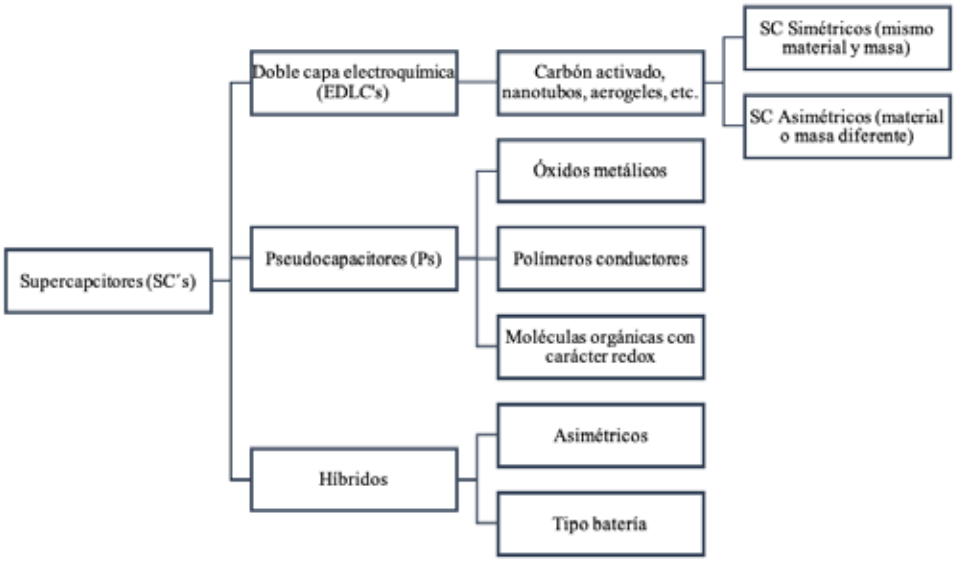
De acuerdo con diversos estudios mostrados en la Tabla 3, el material del electrodo activo en el electrodo procesado es el principal factor que influye en el rendimiento del SC. Se han examinado de tres tipos de materiales de electrodos activos para SC's.

Tabla 3
Materiales de electrodos activos para SC's

Tipo de electrodo	Características
Carbones activados (CA)	• Muestran un área de superficie más grande, pero una conductividad eléctrica más baja, lo que lleva al uso de aditivos conductores y CA en los electrodos procesados. • Materiales de menor costo. • Pueden ser derivados de productos y desechos agrícolas (cacao, coco, café, arroz y bambú).
Nanotubos de carbono (NTC)	• Muestra una alta conductividad eléctrica pero un área de superficie moderada debido a la forma cilíndrica que tienen. • Material de alto costo.
Óxido de grafeno reducido (rGO)	• Muestran una alta conductividad eléctrica pero un área de superficie moderada debido al reapilamiento de las capas de grafeno. • Material de alto costo.

Nota. En esta tabla se hace una ligera comparación de las características generales de materiales empleados como electrodos activos para SC´s (Olán *et al*., 2021).

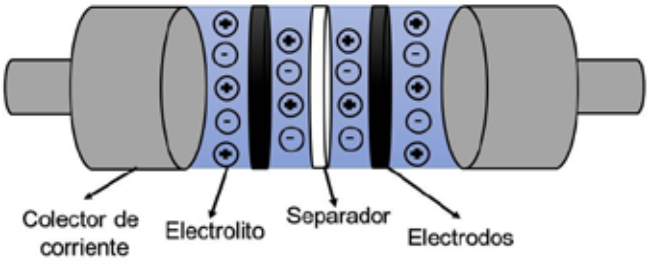
En el estudio de los supercapacitores se han establecido clasificaciones según el electrodo que se emplea, principio de funcionamiento y diseño. Sin embargo, las más aceptadas son tres: supercapacitores de doble capa electroquímica (EDLCs), pseudocapacitores (Ps) y supercapacitores híbridos. Tal como se describe en la Figura 2.



Nota. Los SC´s se clasifican de esta manera con la finalidad de poder realizar la elección adecuada conforme a las necesidades de los sistemas que son necesarios de alimentar (Olán, 2020).

Figura 2. Clasificación de los supercapacitores

"Los supercapacitores electroquímicos de doble capa eléctrica supercapacitores electroquímicos de doble capa eléctrica" (Segura y Remigio, 2016). Los SC's de doble capa almacenan la carga mayormente mediante el efecto de la doble carga interfacial. En este sentido, este tipo de SC busca tener un área superficial lo más elevada posible para poder capturar una gran cantidad de iones en la interface electrodo-electrolito. Generalmente, cuanto mayor es el área superficial del electrodo, mayor es su capacidad de acumular carga. Sin embargo, esta superficie debe ser electroquímicamente accesible a los iones (Delgado, 2018). Aunque los EDLC's son considerados dispositivos electroquímicos, no hay reacciones químicas, ya que están involucrados en el mecanismo de almacenamiento de energía. El mecanismo de almacenamiento de energía es un fenómeno físico y es altamente reversible. La Figura 3 muestra el esquema de un supercapacitor electroquímico de doble capa (Segura y Remigio, 2016).



Nota. El ciclo de vida de los SC's es largo en comparación de baterías, esto se debe al movimiento físico de los iones, quienes regulan las velocidades de carga y descarga (Olán, 2020).

Figura 3. Esquema de supercapacitor electroquímico de doble capa

"Por su parte, los SC´s que almacenan energía electroquímicamente son denominados pseudocapacitores, esto debido a que realizan reacción de óxido-reducción o redox reversibles en la superficie del electrodo." (Segura y Remigio, 2016). En su mayoría están construidos con electrodos de óxidos metálicos como óxido de Rutenio (también se usa óxido de iridio, óxido de níquel o polímeros conductores); presentan poca eficiencia y tensiones por celda muy bajas debido al uso de electrolitos acuosos, además de ser costosos a nivel producción debido a su composición interna (Romero, 2009).

Otra clasificación relevante es la de los SC´s híbridos, también denominados asimétricos, definidos como dispositivos que combinan las pseudocapacitores con capacidades de doble capa, utilizando electrodos asimétricos. Es decir que, en un electrodo, la separación de carga ocurre debido a la formación de doble capa solamente (Yuan *et al.*, 2012).

En la tabla 4 podemos apreciar las características específicas que poseen todos los SC´s que los diferencian de otros dispositivos de almacenamiento independientemente de su clasificación.

Tabla 4

Características generales de los SC´s para diferenciarlos de otros dispositivos de almacenamiento

Características generales	Descripción
Almacenamiento energético (densidad energética)	Los SC´s pueden llegar a tener una densidad energética de magnitud mayor a la obtenida por baterías convencionales.
Gran densidad de potencia.	La cantidad de potencia que un dispositivo es capaz de entregar/recibir por unidad de volumen, para el caso de los SC´s se plantea en promedio de 10kW/kg.
Baja resistencia Serie Equivalente (ESR)	Comparados con baterías, la resistencia interna de los EDLC es mucho menor, lo que les permite trabajar con corrientes muy altas con una elevada eficiencia energética.
Carga y descarga muy rápida	Pueden manejar elevadas corrientes y con una eficiencia prácticamente igual, tanto en carga como en descarga.
Vida útil	Según los fabricantes de supercondensadores, la vida útil de estos se puede estimar en alrededor de 1 millón de ciclos de carga/descarga, mientras que la de las baterías de ion litio es de unos 1000 ciclos aproximadamente.
Voltaje por celda	Típicamente los EDLC tienen un voltaje máximo por celda de unos 2,7V. Los supercondensadores pueden trabajar en todo el rango de voltaje hasta su tensión máxima. Además, puedan ser totalmente descargados sin sufrir degradación alguna, mejorando la seguridad en el almacenaje.
Facilidad para determinar el estado de carga	La carga y descarga es prácticamente lineal, y por tanto, el estado de carga (SOC) se obtiene directamente a través de la medición del voltaje en un determinado momento.
Amplio rango de temperatura de funcionamiento	Típicamente los fabricantes establecen un rango de trabajo de entre -40 y 65°C tanto en carga como descarga. Este rango es mucho mayor que el de las baterías de litio, sobre todo a bajas temperaturas (según datos de fabricantes, -20 a 60°C en descarga y de 0 a 45°C en carga aproximadamente).

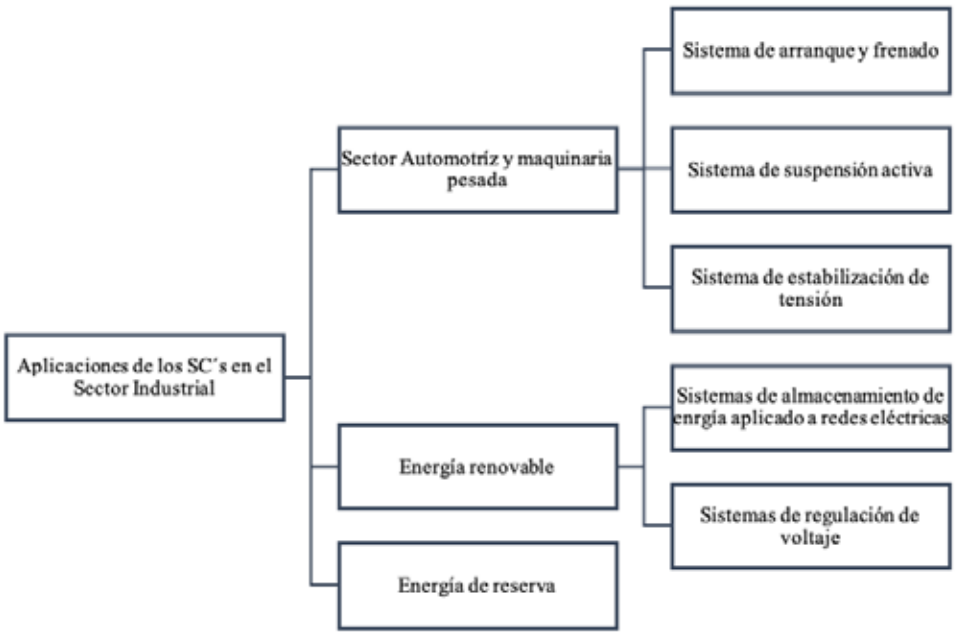
Nota. Estas características son las que hacen una diferencia entre los dispositivos de almacenamiento directos como las baterías y los medios indirectos como los SC´s (Pradas, 2013).

"El SC se puede utilizar para completar la capacidad de energía eléctrica de las baterías en numerosas aplicaciones. Se pueden utilizar para almacenar energía y proporcionar picos de demanda de potencia en sistemas electrónicos de potencia" (Reveles-Miranda *et al*., 2017).

Debido a las ventajas energéticas como disponibilidad para manejar altos valores de voltaje, corriente y temperatura; ciclos cortos de carga/descarga, disponibilidad de mantenimiento óptimo de manera sencilla. En adición a todo lo mencionado y como representación práctica de las cualidades antes mencionadas, a continuación se indican las aplicaciones más generalizadas de los supercapacitores:

- Desarrollo de conversores integrando supercapacitores aplicando los principios de la electrónica de potencia para el fin antes mencionado.
- Desarrollo de sistemas que permitan disponer de un back-up de energía integrando el uso de supercapacitores.
- Desarrollo de un sistema que permita mejorar la autonomía de carga con la integración de supercapacitores para mejorar los tiempos de carga del sistema antes mencionado (Méndez *et al*., 2020).

La Figura 4 muestra aplicaciones de los SC´s en el sector industrial, en los cuales resulta más eficiente el uso de este tipo de sistemas de almacenamiento (Technologies, 2020).

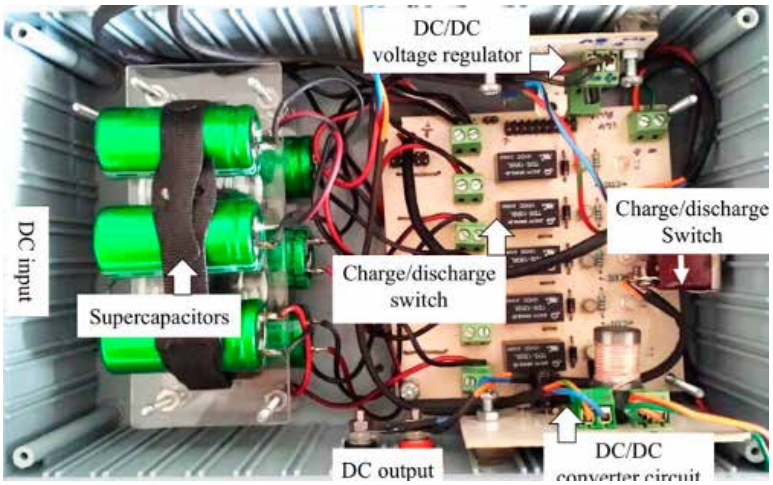


Nota. (Technologies, 2020).

Figura 4. Aplicaciones de los SC´s en la industria

Banco de supercapacitores

Un banco de capacitores es un equipo eléctrico de estructura metálica que contiene en su interior dos o más capacitores idénticos y agrupados de forma fija (Figura 5). No obstante, este tipo de sistemas hace uso de diversos arreglos con los cuales podemos potenciar diversos parámetros eléctricos en función de las especificaciones de los SC´s que estemos empleando (Domínguez, 2012).



Nota. Banco de supercapacitores realizado para estudio de arreglos aplicados en un Banco de Supercapacitores para potenciar parámetros eléctricos (Reveles-Miranda *et al.*, 2017).

Figura 5. Banco de SC´s a nivel laboratorio

Son utilizados en la corrección del factor de potencia (el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente) de un entorno comercial o industrial que utilizan varios motores eléctricos y transformadores. Es importante este primer punto, ya que en la industria si no se corrige el factor de potencia, puede existir una penalización y un efecto negativo en el funcionamiento de los sistemas, como se muestra en la Tabla 5 de manera detallada: características, tipos de capacitores y cuáles son los más utilizados de este mismo (García, 2022).

Tabla 5

Descripción comparativa del funcionamiento de los bancos de capacitores

Características de los bancos de capacitores		
Tener un control en el factor de potencia ayuda a la eficiencia del consumo de energía y el funcionamiento de algunos sistemas (Arredondo-Ferrer *et al.*, 2022).	Estabiliza y adapta el voltaje cuando se presenta una deficiencia en los niveles de corriente eléctrica (Rayón, 2018).	Mejora el perfil de voltaje, larga vida útil y mantenimiento de los bancos de capacitores más barato (García, 2022).

Tabla 6

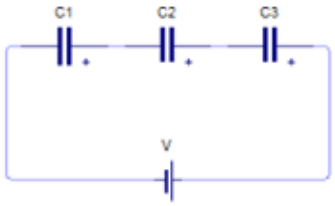
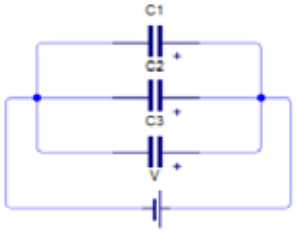
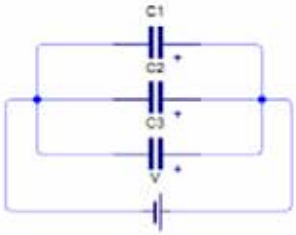
Clasificación y características de capacitores para la realización de conexión con red de balanceo de bancos de capacitores

Tipos de capacitores	Características	Autores
Capacitores cerámicos	Es uno de los capacitores más usados y conocidos dentro del campo de la electrónica y electricidad. Tiene como característica un dieléctrico hecho de distintos tipos de cerámicas. La constante dieléctrica de estos dispositivos suele ser mayor que el promedio.	(Vilela *et al.*, 2017).
Capacitores electrolíticos	En su interior, existe un electrolito que tiene funcionalidad como cátodo y ánodo, teniendo como característica destacable de recibir corrientes muy grandes. Al tener polaridad y no conectarse correctamente pueden llegar a explotar.	(García, 2022).
Capacitores de aire	Está compuesto de placas conductoras paralelas y como dieléctrico usa el aire. Se utilizan cuando se tiene un consumo menor de energía eléctrica.	(Fornaro *et al.*, 2012).
Capacitores de mica	Capacitores más resistentes, ya que su dieléctrico está hecho de mica, este material tiene la característica de poca perdida de energía, hace eficiente el uso de este tipo de capacitor cuando se tiene altas tensiones.	(Vilela *et al.*, 2017).
Capacitores de aluminio	Este capacitor se utiliza a menudo en el banco de capacitores. Se conforma de aluminio y electrolito a base de ácido bórico, también se ocupa para sistemas de audio.	(Méndez *et al.*, 2020).
Capacitores de papel	El dieléctrico se fábrica de papel parafinado, a base de baquelita o algún otro material que impida la humedad. Se utilizan dos placas de papel en conjunto con aluminio.	(Vilela *et al.*, 2017).

En función de las necesidades, se realizan conexiones en serie, paralelo o mixtas. La conexión en serie de un supercapacitor se realiza conectando un conjunto de la parte negativa con la parte positiva de un capacitor. Cuando se requiere un voltaje nominal mayor de un supercapacitor es necesario realizar una conexión en serie ya que el voltaje total es la suma de cada uno de los supercapacitores y la corriente es igual en cada uno. Una desventaja al usar la conexión en serie es que la capacitancia disminuye (Tabla 7a). Por su parte, al aplicar una conexión en paralelo, la capacitancia de cada supercapacitor se suma (Tabla 7b); el voltaje es igual al de un solo supercapacitor y la corriente se suma (Tippens *et al.*, 2007). Finalmente, se debe considerar que para realizar un arreglo de supercapacitores para una aplicación con mayor demanda de voltaje y que, al mismo tiempo mantenga su capacitancia (Tabla 7c), es necesario realizar una conexión mixta, o sea, conectar capacitores tanto en serie como en paralelo (Escribano, 2020).

Tabla 7

Comparación de los tipos de arreglos para potenciar los parámetros eléctricos de los SC´s

Comparación de los arreglos de las conexiones de los SC´s	
a) Serie	
b) Paralelo	
c) Mixto	

Nota. (Tippens *et al.*, 2007)

Matriz de conmutación

Una matriz de conmutación es un circuito el cual implica tener todos los niveles de un banco de supercapacitores (SCB) y controlar los cambios entre los niveles del banco, con el fin de aprovechar las características de los SC's (Tabla 8).

Tabla 8

Comparación de aplicaciones de matrices de conmutación en diferentes sistemas de almacenamiento

Autores	Año	Objetivo	Resultados
Freddy Chan, Jorge Aguilar, Víctor Sánchez, Emmanuel Torres y Marlos Alpuche	2019	"Matriz de conmutación aplicada a un sistema fotovoltaico (SFVI) para reconfigurar tanto a los módulos fotovoltaicos, los inversores y las cargas conectadas bajo ciertas condiciones de operación, generación y consumo de energía eléctrica".	Se desarrolla la evaluación experimental del desempeño ante diferentes condiciones de generación y para diferentes tipos de carga conectadas a la red. El sistema tiene capacidades de reconfiguración ante diversas situaciones, como pueden ser fallas de los inversores, sobrecarga de fases, desbalances de línea, incremento de consumos, cortocircuitos etc. El sistema es capaz de adaptarse ante diversas condiciones de operación (Ramiro *et al*., 2019).
María Guadalupe Reveles-Miranda, Manuel Israel Flota-Bañuelos, Freddy Chan-Puc, and Daniella Pacheco-Catalán	2017	Celda de conmutación básica (BSC) que permite la reconexión de los SC's para aumentar el tiempo de entrega de energía del banco de almacenamiento a un nivel de voltaje constante dentro de un intervalo establecido para garantizar una extracción de energía uniforme de cada SC con ciclos profundos de carga/descarga.	Mediante la implementación de la matriz de conmutación, la energía media extraída se incrementó hasta el 98.87%. Los patrones de descarga muestran que las reconfiguraciones propuestas aumentan el tiempo de descarga en todos los casos. (Reveles-Miranda *et al*., 2017b).
Pietro Romano, Roberto Candela, Marzia Cardinale, Vincenzo Li Vigni, Domenico Musso, Eleonora Riva Sanseverino	2013	"Sistema de reconfiguración que mejora la energía extraída por un generador fotovoltaico en condiciones de irradiación solar no uniformes mediante una topología de matriz de interruptores flexibles para maximizar la potencia generada en tiempo real bajo varias condiciones de desajuste".	El sistema eléctrico dinámico (DES) totalmente reconfigurable para generadores fotovoltaicos permitió una ganancia de potencia satisfactoria tanto en el caso de irradiación no uniforme como en el caso de obstáculos fijos (Romano *et al*., 2013).

CONCLUSIÓN

En la industria actual se ha considerado de vital importancia el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento energético propiciado por la creciente automatización de los sistemas de producción; debido a que este tipo de sistemas requieren que los dispositivos estén correctamente alimentados eléctricamente, y a su vez, entreguen las características eléctricas necesarias para garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera correcta como potencia, tiempos de carga/descarga y amperaje. Los SC´s representan una alternativa de solución en materia de almacenamiento de energía, debido a que son dispositivos más estables a comparación de las

baterías convencionales, y gracias a diversos estudios se han propuesto configuraciones que les permiten conservar los parámetros eléctricos como voltaje, potencia, amperaje y mejores condiciones en los ciclos de carga/descarga; aunado a esto, el carbón activado que compone los electrodos de los SC´s puede estar elaborado de biomasa (coco, cacao, bambú, café y arroz), lo que representaría una alternativa amigable con el ambiente y con un ciclo de vida mayor comparado a los comerciales. Dentro de las mejoras que se proponen con el uso de SC´s encontramos el desarrollo de bancos de supercapacitores, definidos como una serie de SC´s conectados entre sí por arreglos eléctricos (serie, paralelo o mixto) que permiten mejorar los parámetros de voltaje y amperaje, estabilizando los sistemas, a modo de potenciar los parámetros eléctricos. Sin embargo, estos bancos requieren de control de acuerdo a sus aplicaciones; a partir de lo cual se presentan las matrices de conmutación, también conocidas como matrices de cambio, estas tienen la particularidad de permitir cambiar los parámetros entregados de acuerdo a las necesidades del sistema que se está alimentando; este es un tema que se encuentra en desarrollo de investigación y propone cambios revolucionarios para la industria eléctrica.

REFERENCIAS

Arredondo-Ferrer, E., Buitrago-Sierra, R., & López, D. (2022). Hierarchical carbonaceous materials derived from spent coffee grounds for application in supercapacitors. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales, 46*(178), 233–247. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1585

Delgado Fernández, S. (2018). Estudio de viabilidad acerca del uso de un sistema de almacenamiento basado en hidrogeno como alternativa al almacenamiento en batería de una instalación fotovoltaica aislada para abastecer a una vivienda.

Díaz Baizán, P. (2016). *Supercondensadores híbridos asimétricos con especies redox inorgánicas*. Tesis doctoral.

Domínguez Ponce, A. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para baterías y supercapacitores*.

Escribano Reyes, M. (2020). *Modelo y control de un banco de supercapacitores con convertidor*.

Fornaro, P., Talpone, J. I., Moré, J., & Riva, D. (2012). *Diseño y construcción de un banco de supercapacitores*. 1–12.

García Hilario, J. C. (16 de agosto de 2022). Bancos de Capacitores, Ejemplos, Usos y Beneficios. Capacitores.net. https://capacitores.net/bancos-de-capacitores/Que-debo-conocer-de-los-bancos-de-capacitores.

Méndez, E. F., Arrobo, E. V. y Morocho, A. F. (2020). Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico, análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. *Espacios*, 41, 29.

Mírez Tarrillo, J. (2012). *Sistemas de almacenamiento de energía*. 1–9.

Muñoz Menéndez, D. A. (2020). *Modelado y validación experimental de un banco de supercapacitores y baterías con propósitos de diagnóstico de fallas fuera de línea*.

Olán Ramos, M., del Ángel Meraz, E., Rojo, J. M., Pacheco-Catalán, D. E., Pantoja Castro, M. A., & Mora Ortiz, R. S. (2021). Activated carbons from coconut shell and NiO-based composites for energy storage systems. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 32*(4), 4872–4884. https://doi.org/10.1007/s10854-020-05227-0

Olán Ramos, M. (2020). *Diseño de materiales de almacenamiento de energía fabricados a partir de cáscara de coco*.

Pradas Luengo, A. (2013). *Sistema de ensayo y caracterización de supercondensadores. Estudio de supercondensadores sometidos a radiación ionizante*.

Ramiro, I., Carrillo, A. A., de Finanzas, S., Comercialización, Y., Teresita, M. C., Chan, I., Secretaria Técnica, E., De, J., Vicente, I. I., Coronado, R., de Edición, J., Producción, Y., De, M. A. L., Luz, L. A., Vázquez, R., Digital, E., Rosa, P. L., Montero, P., de Resguardo, J., … Publicaciones,

D. E. (2019). *Revista del centro de Graduados e Investigación Instituto tecnológico de Mérida. Centro de Investigación de Graduados e Investigación TECNM MÉRIDA*, 1–100.

Rayón López, N. (2018). *"Supercapacitores electroquímicos ensamblados con electrodos de carbón activado y nanocompuestos de WO3 obtenido con energía solar"*.

Reveles Miranda, M. G. (2013). *Diseño y elaboración de un módulo de supercondensadores con configuración flexible para el incremento de tiempo de descarga a voltaje constante*.

Reveles-Miranda, M. G., Flota-Bañuelos, M. I., Chan-Puc, F., & Pacheco-Catalán, D. (2017a). Experimental evaluation of a switching matrix applied in a bank of supercapacitors. *Energies, 10*(12). https://doi.org/10.3390/en10122077

Reveles-Miranda, M. G., Flota-Bañuelos, M. I., Chan-Puc, F., & Pacheco-Catalán, D. (2017b). Experimental evaluation of a switching matrix applied in a bank of supercapacitors. *Energies, 10*(12). https://doi.org/10.3390/en10122077

Romano, P., Candela, R., Cardinale, M., Li Vigni, V., Musso, D., & Riva Sanseverino, E. (2013). Optimization of photovoltaic energy production through an efficient switching matrix. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 1*(3), 227–236. https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2013.01.0017

Segura, C. and Remigio, J. (2016). Modelación y simulación de un sistema híbrido de almacenamiento de energía eléctrica para la propulsión de embarcaciones tipo taxis en puerto ayora. Master's thesis, Quito.

Technologies, M. (2020). Ultracapacitors application.

Tippens, P. E., Orozco, J. H. C., and Ruiz, Á. C. G. (2007). Física: conceptos y aplicaciones. Number Sirsi) i9789701035146. McGraw-Hill Interamericana.

Vilela, J. A., De, E. A., & Fabro, G. (2017). *Conversor forward para carga de bancos de supercapacitores*. 1–4.

Yuan, L., Xiao, X., Ding, T., Zhong, J., Zhang, X., Shen, Y., Hu, B., Huang, Y., Zhou, J., and Wang, Z. L. (2012). Paper-based supercapacitors for self-powered nanosystems. *Angewandte Chemie International Edition, 51*(20). 4934–4938.