

Medio Ambiente, Innovación de Productos y Desarrollo Energético Sustentable.



COORDINADORES

Lenin Martínez Pérez
José Gilberto Torres Torres
Adib Abiu Silahua Pavón

Domingo Román Guillén
Jorge Rebollo Meza
Rosario del Carmen Suárez Jiménez

**Medio Ambiente, Innovación de
Productos y Desarrollo Energético
Sustentable**

UTTAB

Medio Ambiente, Innovación de Productos y Desarrollo Energético Sustentable.

Coordinadores, Lenin Martínez Pérez, José Gilberto Torres Torres, Adib Abiu Silahua Pavón, Domingo Román Guillén, Jorge Rebollo Meza y Rosario del Carmen Suárez Jiménez. --Primera edición. -- Villahermosa, Centro, Tabasco: Universidad Tecnológica de Tabasco, 2023.

209 páginas: Ilustraciones.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN digital: 978-607-99317-8-0

Primera edición, 2023

D. R. © Universidad Tecnológica de Tabasco

Carretera, Villahermosa-Teapa

Km. 14.6, Parrilla II, Tabasco. C.P. 86288

Villahermosa, Centro, Tabasco. www.uttab.mx

Las opiniones expresadas en el presente libro son de exclusiva responsabilidad de cada uno de los autores que participaron y no necesariamente representan la opinión de la UTTAB. Queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite a la fuente.

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un Comité Científico Interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes Instituciones de México y Argentina instaurado para tal fin.

Las denominaciones empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican de parte de la UTTAB, juicio alguno sobre la delimitación de fronteras o límites y la mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la UTTAB los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Coordinadores: Lenin Martínez Pérez, José Gilberto Torres Torres, Adib Abiu Silahua Pavón, Domingo Román Guillén, Jorge Rebollo Meza y Rosario del Carmen Suárez Jiménez

Apoyo editorial: Departamento de Diseño e Imagen de la UTTAB.

Responsable de la edición: Universidad Tecnológica de Tabasco.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

Comité Científico

Medio Ambiente, Innovación de Productos y Desarrollo Energético Sustentable.
es una obra colectiva creada por un equipo de profesionales, quienes cuidaron el nivel y la pertinencia de los contenidos, lineamientos y estructuras establecidas por la Editorial Universidad Tecnológica de Tabasco.

Fue dictaminada con arbitraje a doble ciego por un Comité Científico Interinstitucional México-Argentina, integrado por especialistas en el tema.

Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dr. Srinivas Godavarthi

Profesor del Programa Investigadoras e Investigadores por México (CONACYT),
adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas de la UJAT.
Coordinador

Dr. Jorge Cortez Elizalde

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Juan Carlos Arévalo Pérez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Mtra. Laura González González

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Clara Luz Lamoyi Bocanegra

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Víctor Hugo Robles Francia

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Adriana Mariela de la Cruz Caballero

Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe).

Dr. Filiberto Ortiz Chi

Profesor del Programa Investigadoras e Investigadores por México (CONACYT),
adscrito a la División Académica de Ciencias Básicas de la UJAT.

Dictaminador Argentina

Dr. Eduardo Ernesto Miró

Universidad Nacional del Litoral (INCAPE), Santa Fe Argentina

**Medio Ambiente Innovación de Productos y Desarrollo
Energético Sustentable**

Lenin Martínez Pérez

José Gilberto Torres Torres

Adib Abiu Silahua Pavón

Domingo Román Guillén

Jorge Rebollo Meza

Rosario del Carmen Suárez Jiménez

Prólogo

Este libro consta de 17 capítulos, en ellos se presentan trabajos de investigación realizados por grupos de investigadores de distintas universidades en el sureste de México relacionados con los temas de Medio Ambiente, Innovación de Productos y Desarrollo Energético Sustentable. Cada uno sigue su propia metodología y ha sido elaborado, revisado y discutido por expertos académicos de distintas Instituciones de Educación Superior.

Este libro está dividido en tres secciones, la primera “Energías Renovables y Desarrollo de Nanomateriales”, aborda temas relacionados como es el estudio para la toma de decisiones de instalaciones de centrales hidráulicas para la generación de energía, asimismo, se presentan investigaciones para la síntesis de nanomateriales aplicados para la generación de nuevas fuentes de energías.

La segunda sección aborda la temática de “Automatización de procesos y ahorro de energía, seguridad alimentaria y agricultura sostenible”, donde se abordan los temas desarrollo y evaluaciones sensoriales de frituras de yuca, tostadas horneadas y panificación baja en azúcar y gluten, de igual forma, se presenta estudio de metales en pez diablo y aplicabilidad de Red Neuronal Artificial Backpropagation, para la detección de posibles casos Covid-19.

Finalmente, la tercera y última sección “El uso de las TICs para el desarrollo turístico sostenible y sistemas energéticos” aborda investigaciones interesantes en el desarrollo tecnológico de software para diferentes usos, tales como el canal de comercialización de artesanías, recorridos virtuales y seguridad de rutas turísticas en el estado de Tabasco.

Estos estudios son el resultado de proyectos de investigación que los profesores realizan con la ayuda de los estudiantes de diferentes Instituciones de Educación Superior del Sureste, todos basados en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) los cuales tienen como finalidad el desarrollo de las regiones del mundo no afectando los ecosistemas, respetando las culturas ancestrales, su gastronomía, las tradiciones y el cuidado de la salud y el medio ambiente entre otros.

Índice

ENERGÍAS RENOVABLES Y DESARROLLO DE NANOMATERIALES

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS VARIABLES RELEVANTES PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDRAULICA (PCH's) CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RIO HUAZUNTLAN	10
--	-----------

José Francisco Ramírez Blanco, Gerardo Alcalá Perea

EVALUACIÓN FOTOCATALÍTICA DE ACETAMINOFÉN BAJO LUZ SOLAR EMPLEANDO CATALIZADORES DE TiO₂, TiO₂-ZrO₂ Y TiO₂-ZrO₂-WO₃	20
--	-----------

Jhatziry Hernández Sierra, Juan Carlos Arévalo Pérez, Adib Abiu Silahua Pavón, José Gilberto Torres Torres, Jorge Cortez Elizalde, Adrián Cervantes Uribe, Adrián Cordero García

HIDROGENACIÓN DEL ÁCIDO LEVULÍNICO A GAMMA-VALEROLACTONA, UNA MOLÉCULA PLATAFORMA SOSTENIBLE DERIVADA DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA	45
---	-----------

Jorge Cortez Elizalde, José Gilberto Torres Torres, Adib Abiu Silahua Pavón

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE TiO₂ Y c-TiO₂ A BAJA TEMPERATURA	60
---	-----------

Aidee Jiménez Cupil, Laura Lorena Díaz Flores, Juan Carlos Díaz Guillén

ESTUDIO DE CATALIZADORES BIMETÁLICOS NI-AU, SOPORTADOS EN Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ PREPARADOS POR RECARGA Y MODIFICADOS CON W Y P EN REACCIONES PARA OBTENER BIOCMBUSTIBLES	71
---	-----------

Mohamad Ali Piza Zapata, José Gilberto Torres Torres, Adib Abiu Silahua Pavón

CÁLCULO, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO EN CAMPESTRE LA MORALEDA, ATLIXCO, PUEBLA 91

Avelina García Sánchez, Juan Pedro de la Rosa Cervantes, Virginia García García

NANOBARRAS DE ZnO OBTENIDAS EN BAJA TEMPERATURA PARA APLICACIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA 105

Fabiola del Carmen Gómez Torres, José Luis Cervantes López, Laura Lorena Díaz Flores

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS Y AHORRO DE ENERGÍA, SEGURIDAD ALIMENTARIA Y AGRICULTURA SOSTENIBLE

DESARROLLO Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA FRITURA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA) CON SAZONADORES 118

Agustín Moreno Dzul, Katy Gómez Jiménez, Jonathan Barrón Ruiz, Franco Lucio Ruiz Santiago, Josafat Alberto Hernández Becerra

DESARROLLO Y EVALUACION SENSORIAL DE UNA TOSTADA HORNEADA A BASE DE HARINA DE MAÍZ (ZEA MAYS) Y HOJAS DE CHAYA (CNIDOSCOLUS ACONITIFOLIUS) 125

Irma López Álvarez, Aline Reyes Castellanos, Franco Lucio Ruíz Santiago, Rafael García Jiménez

DETERMINACION DE METALES PESADOS (Pb, Hg, Cd Y As) EN LA CARNE DEL HYPOSTOMUS PLECOSTOMUS (PEZ DIABLO), LOCALIZADO EN AGUA DULCE DE LAS CUATRO REGIONES (CENTRO, CHONTALPA, RIOS Y SIERRA) DEL ESTADO DE TABASCO 131

Roberto Rocher Córdova, Rafael García Jiménez, Antonio Valadez Villareal, Jesús Arturo Hernández Ríos, Roxana Ruth Gómez Reyes, Franco Lucio Ruíz Santiago

**ACEPTACIÓN SENSORIAL DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN
BAJOS EN AZÚCAR Y GLUTEN ELABORADOS A BASE DE HARINA DE
ÑAME (DIOSCOREA SPP) 143**

*Arcadia Helena Martínez Ceballos, Ana Line Hernández Muñoz, Tomas Manrique Sansores
Porter, Josafat Alberto Hernández Becerra, Angelica Alejandra Ochoa Flores*

**RED NEURONAL ARTIFICIAL BACKPROPAGATION PARA LA
DETECCIÓN DE POSIBLES CASOS COVID-19 152**

Miguel Humberto Moreno Carrillo, Alejandro Medina Santiago, Susana Chávez Cruz

**EL USO DE LAS TICs PARA EL DESARROLLO TURÍSTICO
SOSTENIBLE Y SISTEMAS ENERGÉTICOS**

RECORRIDO VIRTUAL: MUSEO CULTURA MAYA “BALAM B’E” 161

*Ana Aurora Guerrero González, Gladys del Carmen Calao Sánchez, Mishelle Scarlet Hernández
Vertiz*

**USO DE LAS TICs COMO CANAL DE COMERCIALIZACIÓN DE
ARTESANÍAS 169**

Magda Gabriela Sánchez Trujillo, José Ángel Pérez Hernández, Meliza Lázaro Hernández

TIC’S PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO EN EL SIGLO XXI 179

Fabiola Lizama Pérez, Lucía Sandoval Núñez, Susana Mandujano Contreras

**PROPUESTA DE SEGURIDAD IP REMOTO Y ENERGÍAS
RENOVABLES PARA RUTAS TURÍSTICAS DE TABASCO 188**

*María Reyna Guillermo Guillermo, Martha Ofelia Jiménez Velázquez, Miguel Ángel Perera
Chablé*

**USO DE MEDIOS ELECTRÓNICOS PARA LA DIFUSIÓN DE
PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN HOTELERÍA PARA EL AHORRO DE
ENERGÍA Y MITIGACIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA 199**

*Domingo Román Guillen, Rosario del Carmen Suárez Jiménez, Aida Dinorah García Álvarez,
Jorge Rebollo Meza, Lenin Martínez Pérez*

***ENERGÍAS RENOVABLES Y DESARROLLO
DE NANOMATERIALES***

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LAS VARIABLES RELEVANTES PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDRAULICA (PCH's) CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RIO HUAZUNTLÁN

José Francisco Ramírez Blanco, Gerardo Alcalá Perea

RESUMEN

El artículo presenta un modelo simplificado de toma de decisión basado en la utilidad del método (AHP) “Analytic Hierarchy Process” por sus siglas en idioma inglés y las variables (criterios, sub-criterios) elegidos para definir las condiciones para establecer la ubicación óptima de una pequeña central hidroeléctrica. Para el sitio en concreto caso de estudio cuenca del río Huazuntlán, hay información sobre el esquema por el cual se obtuvo el potencial definiendo los criterios y sub-criterios para tomar en cuenta la mejor localización de la PCH. Esto incluye la ubicación de la entrada, la carrera de entrada, el tanque de compensación, la tubería forzada, la casa de máquinas, así como la tasa de flujo y la pendiente de la cabeza. Para cada criterio se deben calcular los pesos correspondientes a fin de encontrar la localización óptima de la PCH, Al igual que en la metodología mencionada anteriormente, la tubería forzada se modela con un recorrido recto. Los resultados se presentan en formato ráster utilizando los S.I.G y se proponen los diferentes escenarios para identificar los sitios más adecuados dependiendo de los pesos correspondientes a los criterios seleccionados para su uso en el contexto minihidráulico correspondiente a la zona de estudio “Cuenca del río Huazuntlán”.

Palabras Clave: SIG, Minihidráulico, Energía.

Introducción

En el año 2015 la electricidad alrededor del mundo se generó en plantas hidroeléctricas y esto representó aproximadamente el 16% de toda la electricidad generada alrededor del mundo esto de acuerdo con información de la agencia de energía internacional (International Energy Agency) se generaron cerca de 4200 TW/h. Una planta hidroeléctrica genera electricidad a partir de la energía liberada por el movimiento de agua y la forma en que se genera la electricidad es básicamente aprovechando la energía cinética y potencial de un cauce o reservorio de agua, haciendo que el agua pase a cierta velocidad y fuerza a través de una turbina, la cual al hacer girar un generador eléctrico produciendo electricidad. (Chávez, 2008).

Este tipo de generación de energía eléctrica es totalmente libre de emisiones y significa una considerable fuente de electricidad limpia alrededor del mundo. En México de acuerdo con las disposiciones aplicables de la regulación las hidroeléctricas son parte de las que se consideran “fuentes de energía o procesos de generación eléctrica limpia” (Blanco, 2013).

Dicho de otra manera, este tipo de generación de energía eléctrica está sujeta a la investigación, desarrollo tecnológico, innovación en diversos esquemas de aprovechamiento hidroeléctrico de toma de decisiones en este caso mediante el método AHP “Analytic Hierarchy Process”. En el cual se puede promover la inclusión de la sociedad, herramientas informáticas y garantizar posibilidades amplias de desarrollo en la generación hidroeléctrica.

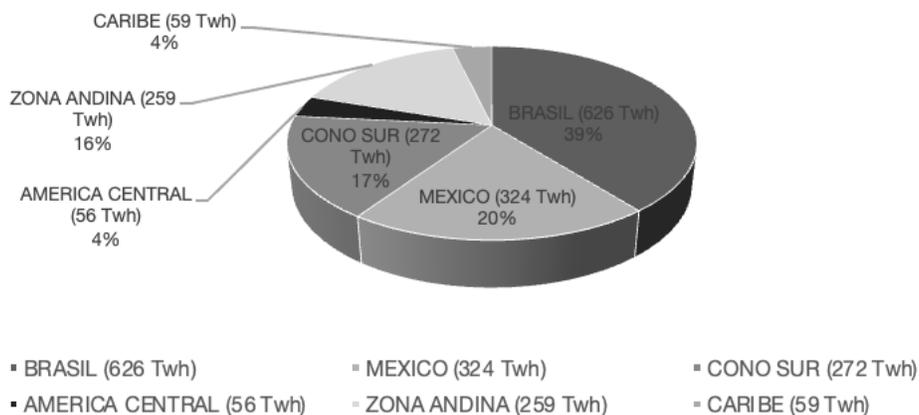
Por lo tanto, con el avance de la tecnología han surgido lo que se conoce como herramientas SIG o sistemas de información geográfica por sus siglas, las cuales se pueden utilizar como ayuda para el desarrollo de estrategia e investigación, así como de prevención, cómo de mitigación enfocada a las pérdidas materiales y humanas frente a una posible amenaza natural cuando se realiza el estudio de una instalación perteneciente a una pequeña central hidráulica.

Se desarrolla la utilización enfocada en los sistemas de información geográfica como herramienta absoluta para la elaboración y búsqueda de estrategias ideales para la implementación de una pequeña central hidráulica partiendo de información existente derivada de evaluaciones “in situ” y de inclusión de la sociedad, así como de la posible vulnerabilidad geológica donde se planea instalar la pequeña central hidráulica.

Tabla 1. Capacidad instalada (MW) por regiones en América latina.

Región	Total de plantas	*Baja producción	*Media producción	*Alta producción	Capacidad instalada en (MW)
Andina	71	23	44	4	12,296
Caribe	11	7	2	2	729
América central	37	20	16	1	3,313
Cono sur	75	24	46	5	31,121
Brasil	125	36	86	3	54,813
México	35	17	15	3	10,435
Total	354	127	209	18	112,697
Capacidad instalada (MW)		50,953	46,465	15,320	

Figura 1. Generación de Energía, América Latina



Elaboración propia

DESARROLLO

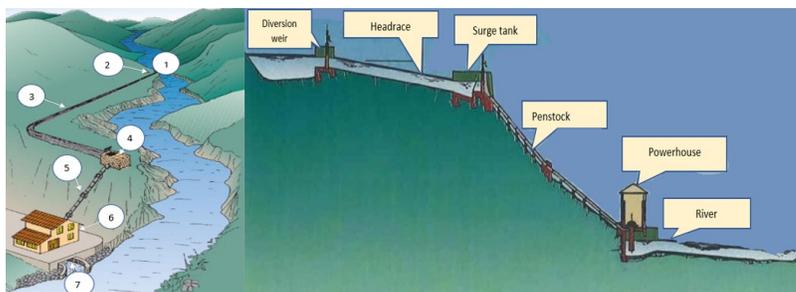
Objetivos Específicos:

1. Determinar mediante una selección de (criterios y sub-criterios) específicos, las posibilidades óptimas para instalar una pequeña central hidráulica (PCH's).
2. Realizar una revisión de la normatividad aplicada y de los criterios de mayor impacto utilizados en la metodología AHP "Analytic Hierarchy Process" para la toma de decisión óptima para las PCH's.
3. Garantizar que con el uso del método AHP, la normatividad empleada y el uso de los sistemas de información geográfica se puede llegar a obtener la potencia deseada y la energía demandada en un punto geográfico de instalación.

MÉTODO

La metodología empleada en el desarrollo de esta investigación en la cual se pretende emplear la tecnología S.I.G como una herramienta de análisis aplicada a la implementación de una (PCH*) es como se muestra en la Fig.2, la posibilidad de que durante su desarrollo en la metodología a emplear pueda nutrir más a manera de qué se logre alcanzar la mayor cantidad de datos disponibles para llegar a los mejores resultados. *Pequeña Central Hidráulica.

Figura 2. Run of river scheme. 1.- Diversion weir, 2.- Intake, 3.- Headrace, 4.- Surge tank, 5.- Penstock, 6.- Powerhouse. 7.- Tailrace.



Elaboración propia

1.- Diseño y estructura de una Pequeña Central Hidráulica (PCH):

Se pretende demostrar en esta sección que existe la disponibilidad hidráulica y las diferentes estructuras o diseños que generalmente se utilizan para construir una pequeña

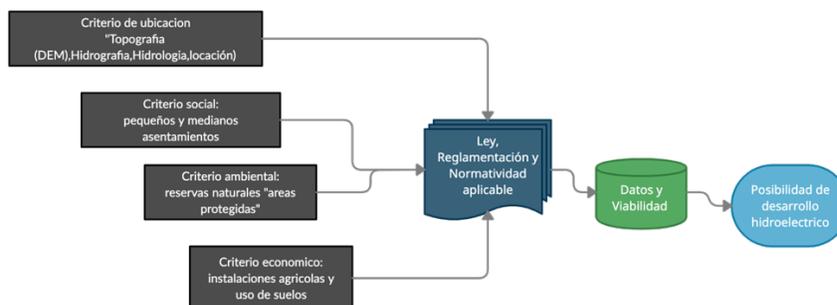
central hidráulica de bajo impacto ambiental, pero de gran representación energética y uso para regiones que adolecen de un buen suministro de energía eléctrica mediante el uso de las SIG.

2.-Región hidrológica del sureste de Veracruz “Cuenca Del Rio Huazuntlán”:

Entregar al lector de este documento una breve descripción de cómo se encuentra constituida la región hidrológica en el sureste de Veracruz específicamente el caso de estudio de la cuenca del rio Huazuntlán ya que, si bien se sabe que dispone de grandes extensiones acuíferas, no todas son adecuadas para la instalación o garantizan la viabilidad de una pequeña central hidráulica.

3.- Determinación Para Los Criterios AHP, Leyes, Reglamentación Y Tipos De Obra De Captación.

Figura 3. Diagrama de flujo criterios-leyes y reglamentaciones vigentes aplicables durante el proceso de análisis de información.



Con la ayuda del método AHP (“Analytic Hierarchy Process”) de (Saaty), (Nantes, 2019), se pretende llevar a cabo el análisis para tomar una decisión en función de los datos óptimos obtenidos durante el análisis de los diferentes criterios de mayor impacto en la zona, a tal caso los criterios determinados como generales son los siguientes:

Tabla 2. Criterios Generales.

#	CRITERIOS GENERALES
1	Criterio de ubicación

2	Criterio social
3	Criterio ambiental
4	Criterio económico

Así mismo se determinan los sub-criterios, derivado a los criterios generales en los cuales se toman en cuenta características propias del terreno en este caso la ubicación, en impacto ambiental, económico, entre otros.

Para determinar los pesos en cada criterio y sub-criterio se plantea la posibilidad de ejecutar una encuesta con personas expertas en el tema o conocimientos afines tanto energéticos, sociales, económicos.

Tabla 1. Sub-criterios.

#	SUB-CRITERIOS
1	Topografía
2	Orientación de las pendientes (En función de la dirección del afluente)
3	Hidrología
4	Redes eléctricas de transmisión
5	Redes eléctricas de media tensión
6	Pequeños y medianos asentamientos
7	Reservas naturales "Áreas protegidas"
8	Clima
9	Instalaciones agrícolas
10	Uso de suelos

Esta parte es de suma importancia para considerar factores como la longitud de la tubería, alturas disponibles, potencias, costos de instalación y afectaciones a diferentes tipos de terrenos esto con la finalidad de tomar una decisión idónea para una ruta seleccionada acorde a las necesidades del entorno y como solución propuesta.

4.-Evaluación de potencial energético de generación:

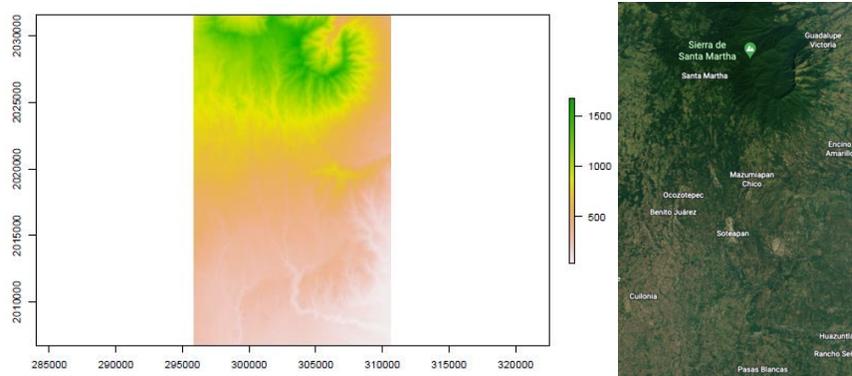
Es de gran importancia tener en cuenta lo que es el potencial bruto energético ya que ésta es indispensable y forma una parte medular para llevar a cabo el análisis de la instalación de

la pequeña central hidráulica empleando SIG. Ya que proporciona un elemento activo para propuesta de la ruta a seleccionar y que esta misma ruta pueda garantizar los mejores aprovechamientos teniendo como base una altura mínima disponible en un determinado caso que se decida realizar una instalación PCH, claro está que es una parte fundamental para el dimensionamiento de la ruta óptima seleccionada.

5.- Aplicación del SIG:

En este punto se tomará en cuenta y de diversas fuentes, de qué manera impacta tanto en normatividad como en política energética la existencia de una nueva pequeña central hidráulica con la elaboración de los diferentes mapas que contengan la importancia de los criterios generales y sub-criterios para poder instalar una PCH, partiendo de un análisis SIG ya que como se manifiesta en este documento este tipo de herramientas, los sistemas de información geográfica representan una nueva tendencia en el análisis para la selección e implementación de nuevas centrales hidráulicas en suelo mexicano (Mas, 2013)

Figura 4. Representación geográfica de la zona de estudio



Nota: Representación de la zona de estudio mediante sistemas de información geográfica SIG (derecha / elaboración propia) y representación (2D Google Earth)

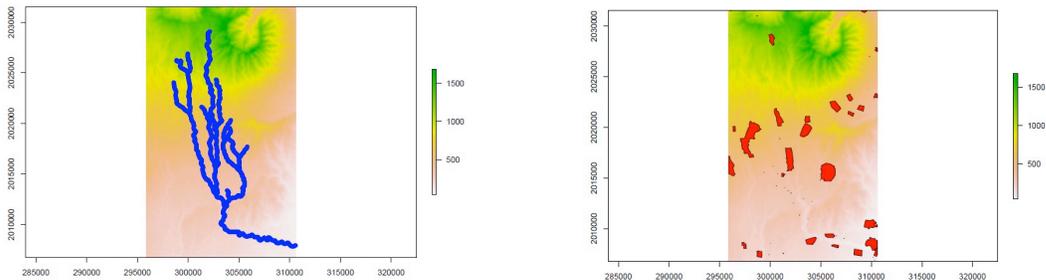
6. Alcances:

El alcance del proyecto será en gran parte debido al análisis del método (AHP) “Analytic Hierarchy Process” en función de los criterios necesarios para seleccionar la localización de una pequeña central hidráulica utilizando el software Q-GIS, y (R studio) para interpretar

datos geográficos y así llevar a cabo la aplicación de las herramientas SIG (Fig. 5 y 6). (Mas, 2013)

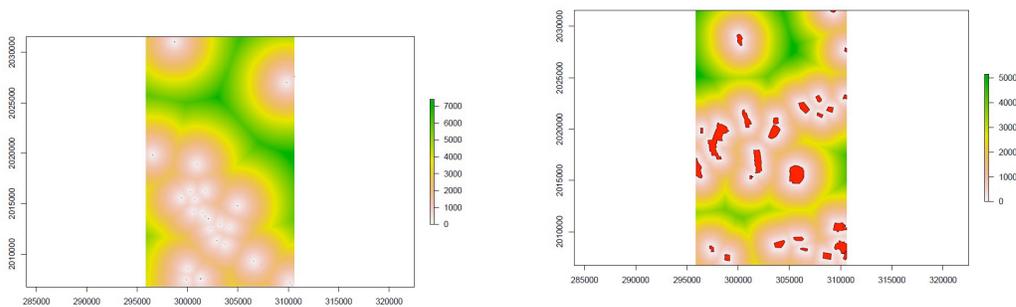
Dicho de otra manera, se evaluará la condición y ruta óptima que en función de los resultados obtenidos mediante los diferentes programas que sirven para el análisis de los sistemas información gráfica sea la más adecuada al momento de obtener potencial necesario de generación de energía eléctrica y que minimice los costos de instalación y cause un menor impacto posible en la localización geográfica donde se desea instalar la pequeña central hidráulica.

Figura 5. Imagen ráster de cuenca y grandes asentamientos.



Nota: Imagen ráster de cuenca de Rio Huazuntlán (der.) y grandes asentamientos(izq.)

Figura 1. Imagen ráster entre pequeños asentamientos.



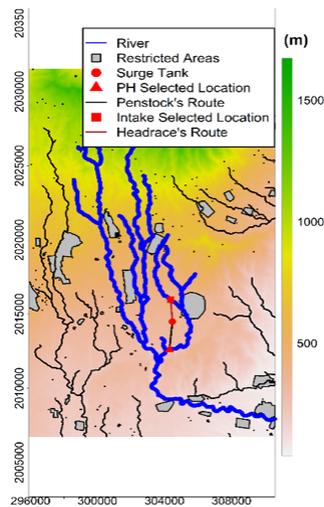
Nota: Imagen ráster correspondiente a distancia entre pequeños asentamientos (der.) y distancia entre grandes asentamientos (izq.)

RESULTADOS

Los mapas obtenidos en formato ráster procesados mediante (Q-GIS) Y R-studio se presentan a continuación. La interpretación y uso de estos mapas debe hacerse con cuidado. En primer lugar, cabe mencionar que muchos de los sitios del área de estudio tienen valores faltantes ya que no cumplen con las características solicitadas para uso minihidráulico. También, debe quedar claro que el uso de mini hidroeléctricas no se realiza en todos los lugares al mismo tiempo, ya que la instalación de una minicentral hidroeléctrica excluye una amplia región. Más bien, estos mapas permiten a los tomadores de decisiones elegir el mejor lugar para la explotación minihidráulica de acuerdo con las variables que consideren relevantes.

Todos los mapas muestran patrones complicados, que en su mayoría son causados por dónde está el río y (ver Fig. 7) cómo se forman el agua y la tierra.

Figura 7. Imagen ráster de configuración para localización de pequeña central hidráulica



Nota: Imagen ráster de configuración para localización de pequeña central hidráulica en conjunto con los componentes principales que la conforman.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este artículo propone una metodología para la elección óptima de la localización de una pequeña central hidroeléctrica, partiendo de las propuestas para a criterios y sub-criterios existentes. Esta formulación de planteamiento de criterios y sub-criterios puede ser robustecida aún más dependiendo de las condiciones objetivo para la selección óptima de la localización óptima de la PCH`s. La importancia de la formulación propuesta se debe a que en el futuro próximo los sistemas de toma de decisiones (AHP) “Analytic Hierarchy Process” pueden llegar a potenciar más la implementación de pequeñas centrales hidráulicas coadyuvando a una alta penetración de energías renovables y generación distribuida (por ejemplo, mediante PCH`s). Para el uso de estas herramientas de toma de decisión se deben considerar la naturaleza de las fuentes y por ende modelar de alguna manera las incertidumbres asociadas a las localizaciones geográficas en las cuales se puede hacer uso ampliamente de los SIG. De esta manera, la formulación propuesta da una herramienta inicial para valorar la localización específicamente cuando estamos hablando de generación mediante PCH`s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, J. F., (2013).** *"Empleo De Una Microturbina De Generación De Energía Eléctrica Michell-Banki Para Uso En Medio Rural O Regiones Que Carecen De Energía Eléctrica". Ecorfan.*
- Chávez, J., (agosto de 2008).** *"Soluciones Prácticas Solucionando La Pobreza". México.*
- Mas, J. F., (2013).** *Usa R Como Un Sistema De Información Geográfica. European Scientific Institute.*
- Nantes, E. A., (marzo de 2019).** *El Método Analytic Hierarchy Process Para La Toma De Decisiones. Repaso De La Metodología Y Aplicaciones. Argentina.*

EVALUACIÓN FOTOCATALÍTICA DE ACETAMINOFÉN BAJO LUZ SOLAR EMPLEANDO CATALIZADORES DE TiO_2 , TiO_2-ZrO_2 Y $TiO_2-ZrO_2-WO_3$

Jhatziry Hernández Sierra, Juan Carlos Arévalo Pérez,

Adib Abiu Silahua Pavón, José Gilberto Torres Torres,

Jorge Cortez Elizalde, Adrián Cervantes Uribe, Adrián Cordero García

RESUMEN

En este proyecto de investigación se obtuvieron catalizadores modificados por diferentes relaciones de % p/p a partir del TiO_2 para obtener óxidos mixtos de TiO_2-ZrO_2 (TZ) y $TiO_2-ZrO_2-WO_3$ (TZW), estos catalizadores se sintetizaron por el método Sol-Gel y fueron calcinados a 500 y 800 °C. Las propiedades fisicoquímicas de estos catalizadores se obtuvieron utilizando las técnicas de caracterización: Análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido TGA-DSC simultáneo, se demostró que el catalizador TZW tuvo un 15% de pérdida de masa y se observó un pico exotérmico a 800 °C de $ZrTiO_4$. Difracción de rayos X (DRX) se encontraron fases de anatasa para el TiO_2 , TZ3 y TZW_{500} , mientras que el catalizador TZW_{800} mostró fases de anatasa, rutilo y $ZrTiO_4$. Fisisorción de Nitrógeno, se generaron isothermas tipo IV característicos de materiales mesoporosos con un lazo de histéresis tipo H_2 con poros de formas esferoidales uniformes. UV/Vis con reflectancia difusa de sólidos (DRS), se obtuvieron las absorciones para obtener el Band gap a partir de la ecuación de TAUC donde las energías varían de 2.93 a 3.55 eV. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), se encontraron partículas uniformes con una buena distribución de partículas. Estos catalizadores se evaluaron en la degradación fotocatalítica del Acetaminofén bajo luz solar durante 180 min. Los catalizadores más activos en la fotodegradación de este fármaco fueron TiO_2 con el 97%, TZ3 85%, TZW_{500} 90% de degradación, esto se debe a la fase anatasa, sin embargo, el TZW_{800} obtuvo un 95% de degradación con mejor estabilidad debido a las fases anatasa y $ZrTiO_4$. Así mismo, se evaluó la reciclabilidad y el reúso de los

catalizadores, donde el catalizador TZW₈₀₀ mantiene un 95% de degradación en 4 reúsos de reacción, concluyendo que los catalizadores TiO₂-ZrO₂-WO₃ tienen una buena estabilidad para la degradación del Acetaminofén.

Palabras Clave: Fotocatálisis, Acetaminofén, TiO₂-ZrO₂-WO₃

Introducción

La industria farmacéutica revolucionó el diseño y elaboración de diversos fármacos que se utilizan comúnmente en la vida cotidiana. Sin embargo, en los últimos años se generó una problemática, estos fármacos se consideran como contaminantes emergentes (CE) provenientes de la industria farmacéutica, hospitales y hogares que al caducar estos fármacos son desechados de forma inadecuada generando una fuente de contaminación principalmente para los cuerpos de agua que están siendo afectados por estos contaminantes emergentes causando un impacto adverso en la salud humana y ecológico. Estos contaminantes emergentes se encuentran en las aguas residuales, superficiales e incluso en el agua potable, que deben ser tratados para garantizar la seguridad de vida (Samal, et al., 2022). Dentro de estos contaminantes emergentes de tipo orgánico se encuentra el paracetamol (Acetaminofén), que es uno de los fármacos comúnmente más encontrado en altas concentraciones 6-65 µg/L en las aguas residuales (Gao, et al., 2022).

DESARROLLO

Los contaminantes activos farmacológicos generados son persistentes en medios acuosos y muestran resistencia contra la degradación, por eso se busca un método de degradación eficaz para este fármaco en aguas residuales. La fotocatalisis heterogénea es una alternativa muy prometedora y de bajo costo de operación para la degradación de contaminantes emergentes en el tratamiento de aguas residuales, se han empleado catalizadores como el dióxido de titanio (TiO₂) combinada con la radiación UV y el oxígeno generando radicales hidroxilos (OH•) in situ resultan interesantes oxidando una amplia gama de contaminantes orgánicos que podrían estar presentes en las aguas residuales (Jallouli, et al., 2017).

En este proyecto de investigación se estudió la degradación fotocatalítica y la mineralización del acetaminofén mediante catalizadores heterogéneos de TiO_2 modificados con Al_2O_3 y ZrO_2 con excelentes propiedades fisicoquímicas.

Objetivo General

Evaluar la degradación del Acetaminofén en medio acuoso mediante la fotocatalisis heterogénea usando luz solar con óxidos mixtos de TiO_2 modificados con ZrO_2 y WO_3 .

Objetivos Específicos

- Elaborar del TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ y $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ por el método Sol-Gel.
- Caracterizar por métodos fisicoquímicos los materiales preparados.
- Evaluar los materiales preparados en la reacción fotocatalítica para degradación del Acetaminofén.
- Correlacionar las caracterizaciones con la evaluación fotocatalítica.
- Determinar la estabilidad del catalizador más activo por medio de ciclos de reúsos y con una caracterización posterior a la evaluación.

MÉTODO

Todos los catalizadores heterogéneos se sintetizaron en el laboratorio de síntesis y caracterización de materiales catalíticos, materiales anticorrosivos y de protección ambiental, ubicado en el Centro de Investigación e Ciencia y Tecnología (CICTAT) de la División Académica de Ciencias Básicas-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Se utilizó el método sol-gel para la síntesis de los catalizadores óxidos mixtos.

Preparación de los catalizadores de TiO_2 modificados con Al_2O_3 y ZrO_2 por el método sol-gel

El método sol-gel permite la fabricación de materiales amorfos y policristalinos con características especiales en su composición y sus propiedades. Una ventaja de utilizar este método es que necesita menor temperatura en comparación con los métodos (coprecipitación, hidrotermal, entre otros.). Este método es una ruta química que inicia con la formación de una suspensión coloidal de partículas sólidas o cúmulos en un líquido (sol) y la hidrólisis-condensación de este sol para formar un material sólido lleno de solvente (gel). El solvente

se le extrae al xerogel simplemente dejándolo reposar a temperatura ambiente durante un periodo de tiempo llamado envejecimiento (*Sol-gel*, s/f). En la **Tabla 1** se pueden observar la variación en porcentajes para la TiO₂, ZrO₂ y WO₃.

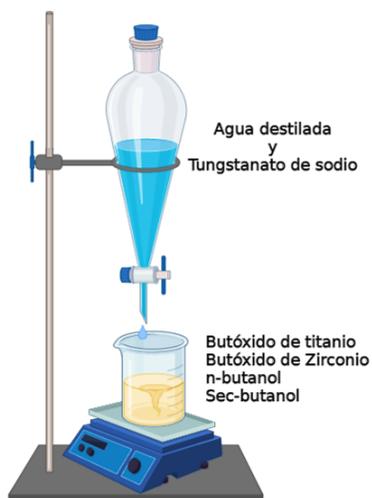
Tabla 1. Variación de porcentaje en peso para la obtención de los soportes óxidos mixtos.

TiO ₂	ZrO ₂	WO ₃	Clave TZW
100%	-	-	TiO ₂
50%	50%	-	TZ1
25%	75%	-	TZ2
75%	25%	-	TZ3
72.5%	22.5%	5%	TZW ₅₀₀
72.5%	22.5%	5%	TZW ₈₀₀

En este trabajo, se sintetizaron catalizadores de TiO₂ con ZrO₂ y WO₃, modificando su relación porcentual en peso (p/p%) por el método sol-gel a temperatura ambiente. Se utilizaron como precursores metálicos Butóxido de titanio (IV) Ti [O(CH₂)₃CH₃]₄ (97% Aldrich), Butóxido de Zirconio Zr[OCH₂CH₂CH₂CH₃]₄ (80% Aldrich), Tungstanato de Sodio (Na₂WO₄ • 2H₂O), la síntesis se llevó a cabo en un vaso precipitado con los alcóxidos metálicos con una mezcla de n-butanol (99.9 %, Baker) y sec-butanol, manteniendo una agitación constante. Finalmente se dejó a un goteo lento de agua destilada como se muestra en la **Figura 1**.

Se utilizaron las siguientes relaciones con el fin de obtener materiales porosos: alcóxido/butanol=1/8 en volumen y alcóxido/agua=1/16 en volumen. Terminada la adición, se dejó con agitación durante 24 h para obtener el gel. Posteriormente se obtuvo un gel que se sometió a un proceso de secado en una estufa a 120°C durante 48 h. Estos materiales se sometieron a un proceso térmico de calcinación de 500°C durante 12 horas a 2 °C/min.

Figura 1. Esquema de la preparación de soportes de $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ por el método sol-gel.



Caracterizaciones

Los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron en una unidad BRUKER D-8 con una radiación de $\text{Cu K}\alpha = 1.54059 \text{ \AA}$ operada a 40 kV, 30 mA y un valor de 2θ de 20 a 80, con una velocidad de escaneo de $10^\circ \text{ min}^{-1}$. Se determinaron estudios de fisisorción de N_2 utilizando un analizador MICROMERITICS TRISTAR 3020 II a 77 K (-196°C) empleando el método BET para el área específica de las superficies. La distribución de poros y los volúmenes acumulados de poros se obtuvieron mediante el método de Barrett-Joyner-Halenda (BJH) a partir de las ramas de desorción de las isothermas. Los espectros de reflectancia difusa de los soportes se obtuvieron con un espectrofotómetro SHIMADZU UV-2600, provisto con una esfera de integración, útil en el análisis de polvos. Se analizó la región de 200-800 nm utilizando BaSO_4 como estándar blanco de reflectancia para la obtención de la línea base.

Degradación fotocatalítica heterogénea del Acetaminofén.

La fotocatalisis es una reacción que degrada una gran variedad de productos contaminantes emergentes orgánicos mediante la generación de radicales hidroxilos en presencia de un óxido metálico semiconductor y una fuente de luz. La degradación se llevó a cabo en un reactor de vidrio de 300 ml dentro del simulador solar SUNTEST CPS+ Atlas, el rango de emisión del simulador abarca de 250 a $765 \text{ W}\cdot\text{M}^{-2}$, éste se programó para emitir $32 \text{ W}/\text{m}^2$ de radiación UV. Para la fotodegradación se utilizó una solución a una

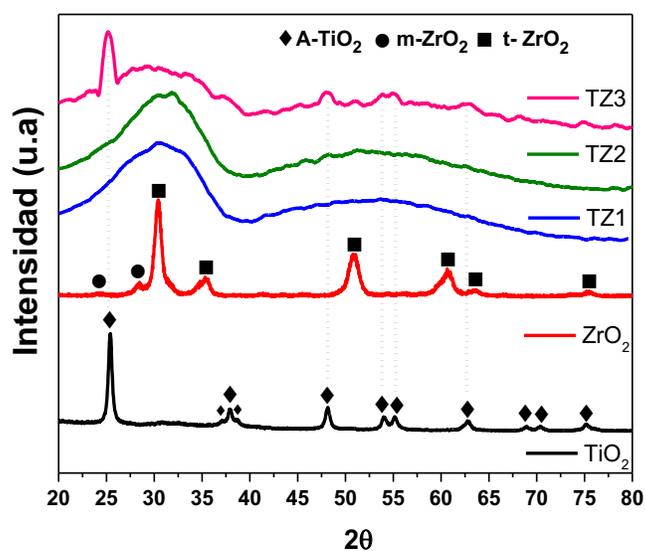
concentración de 30 ppm de Acetaminofén (>99.0%, Sigma-Aldrich) en presencia de flujo de O₂, con 0.30 g de catalizador y a una agitación magnética. Inicialmente se cargó el reactor y se dejó por 30 min sin exposición a la radiación, posteriormente se programó el equipo para iniciar la reacción, así mismo, se sacaron muestras cada 30 min obteniendo 15 mL de muestra con una jeringa de 20 mL por 3 horas de reacción, para estas muestras se utilizó un filtro de Millipore Millex-GN Nylon 0.2 µm. La fotodegradación del Acetaminofén se analizó por Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis), donde la región de máxima absorbancia correspondiente al acetaminofén es de 243 nm.

RESULTADOS

Difracción de Rayos X (DRX).

Para conocer la cristalinidad de los catalizadores se realizó el análisis de difracción de rayos X. En la **Figura 2** se muestran los difractogramas para los catalizadores TiO₂-ZrO₂ sintetizados por el método Sol-Gel y calcinados a 500 °C. Aquí se puede observar catalizadores amorfos para TZ1 y TZ2, se observa en el intervalo de [2θ=20° a 38.9°] se aprecia la fuerte interacción entre TiO₂-ZrO₂.

Figura 2. DRX de los catalizadores óxidos mixtos TiO₂-ZrO₂ por el método Sol-Gel calcinados a 500 °C.

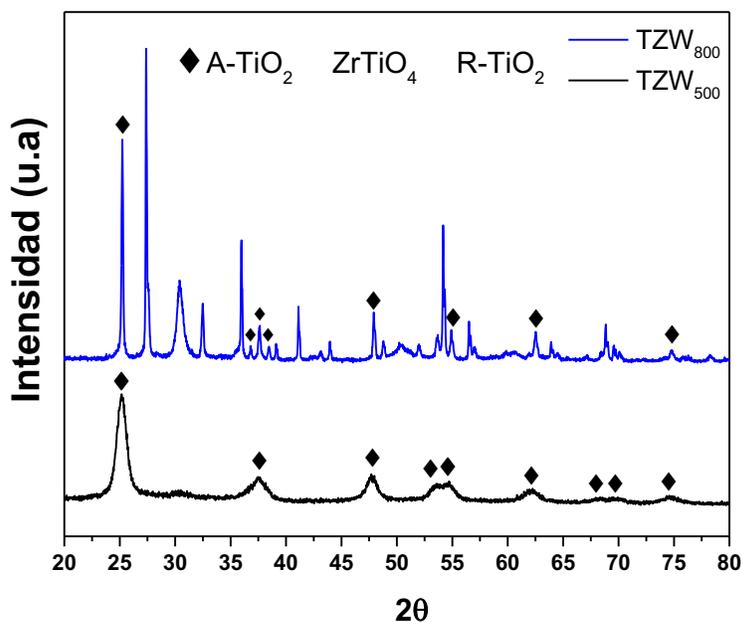


Sin embargo, para el catalizador TZ3 (75%-25%) se observa señales de la fase anatasa 2θ de 25.35° (101), 38.12° (112), 48.30° (200), 53.97° (105), 55.27° (211), 62.89° (204),

68.91° (116), 70.49° (220), 75.03° (215) estas señales se confirmaron con la tarjeta JCPDS No 21-1272 para el TiO_2 presentes en este catalizador (García-Domínguez, et al., 2022), esto se debe al alto porcentaje de TiO_2 . Así mismo, se pueden apreciar algunas pequeñas señales de la zirconia tetragonal (t-ZrO_2) JCPDS No. 89-7710. Esta reportado por Manríquez *et. al.* (2004) que a porcentajes menores a 50% de estas especies $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ tendrá un comportamiento amorfo (Manríquez, et al., 2004), lo cual se aprecia en todas las muestras con abreviatura TZ.

A continuación, se describe los difractogramas para el catalizador $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ calcinado a 500 y 800 °C sintetizados por el método Sol-Gel. En la **Figura 3**, se puede observar que para el catalizador TZW_{500} calcinado a 500 °C solo se identificaron señales de la fase anatasa del TiO_2 esto se corroboró con la tarjeta JCPDS No. 21-1272 y ICDD No. 01-071-1166, esta fase anatasa se forma por el alto contenido de TiO_2 presente en el catalizador.

Figura 3. DRX de los soportes $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ por el método sol-gel calcinados a 500 °C y 800 °C.



El catalizador TZW también fue calcinado a 800 °C esto por el cambio estructural que se encontró en el DSC. Por lo tanto, se formó la fase Titanato de zirconio (ZrTiO_4) corroborando las señales del ZrTiO_4 en DRX como se muestra en la **Figura 3**. Se puede apreciar pico a 27.38° de 2θ asignado al pico principal correspondiente al plano (111) (JCPDS No. 34-0415)

de una fase ortorrómbica cristalina del $ZrTiO_4$ (Xi et al., 2020; Liu et al., 2019) reporta que el efecto de temperatura altas ($>700\text{ }^\circ\text{C}$) de calcinación influye a la formación de esta fase cristalina (Liu, et al., 2019). Sin embargo, se encontraron algunas señales de anatasa (JCPDS No.21-1272) y rutilo (JCPDS No. 21-1276) del TiO_2 . Arévalo, et al., (2020) encontró en los DRX la transición de fase anatasa a rutilo del TiO_2 en catalizadores TiO_2 calcinados a $800\text{ }^\circ\text{C}$ (Arévalo-Pérez, et al., 2020).

Los difractogramas además de proporcionarnos las fases cristalinas de los catalizadores también nos permiten calcular el tamaño promedio del cristal (nm) usando la ecuación de Scherrer. En la **Tabla 2** se encuentran los tamaños promedio de cristal calculados por los picos más intensos encontrados en los difractogramas.

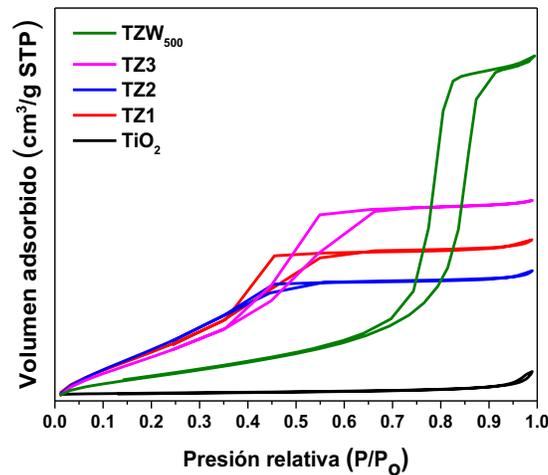
Tabla 2. Tamaño de cristal de los catalizadores sintetizados por el método Sol-Gel calculado por la ecuación de Scherrer.

Catalizador	Anatasa	Rutilo	$ZrTiO_4$
TiO_2	(101) 14.89 nm	-	-
TZ3	(101) 9.42 nm	-	-
TZW₅₀₀	(101) 7.46 nm		
TZW₈₀₀	(101) 48.3 nm	(110) 54.69 nm	(111) 12.64 nm

Fisorción de nitrógeno.

En muchas de las investigaciones sobre las propiedades texturales de materiales con porosidad se encuentran varias isothermas representativas de los sólidos porosos. La gran cantidad de estas isothermas se generan por una adsorción física, dependiendo de la forma de las isothermas de adsorción, las han clasificado en seis tipos según la clasificación de la IUPAC.

Figura 4. Isotermas de adsorción de los catalizadores óxidos mixtos preparados por el método sol-gel y calcinados a 550 °C.



A continuación, se describen las propiedades texturales de los catalizadores óxidos mixtos sintetizados por el método Sol-Gel calcinados a 500 °C por la técnica de fisisorción de Nitrógeno. La forma de las isotermas de los catalizadores se encuentra en la **Figura 4**. Todos los catalizadores presentaron una isoterma tipo IV representativas de materiales mesoporosos de acuerdo con la IUPAC. Así mismo, se muestra un incremento de la cantidad adsorbida a presiones relativas intermedias y ocurre mediante un mecanismo en multicapas donde se hace el llenado de poros y se da por el fenómeno de condensación capilar llamado histéresis, para los catalizadores AT1, AT2, ATZ1, ATZ2, ATZ3 y ATZ4 estos catalizadores tienen dos tipos de lazos de histéresis tipo H1 y H2. Los cuales corresponden a poros con formas esféricas uniformes y de cuello de botella. Sin embargo, para los catalizadores TZ1, TZ2, TZ3 y TZW₅₀₀ tienen un tipo de isoterma H2 representativo de poros con formas cilíndricas no uniformes de cuello de botella. Por otro lado, se calcinó el catalizador TZW a 800 °C se ha investigado que el tratamiento de calcinación a altas temperaturas las de isoterma de adsorción se deforman generando isotermas tipo III característico de sólidos macroporosos con una histéresis tipo H2 o H3 (Badli, y Ali, s/f; Talukdar, et al., 2021).

Se determinó el área específica de los catalizadores por adsorción-desorción de gas nitrógeno N₂ por el método BET, así como la distribución de tamaño de poro y volumen de

poro. En la **Tabla 3** se encuentran las propiedades texturales de todos los catalizadores de óxidos mixtos.

Tabla 3 Propiedades superficiales de los soportes calcinados a 500°C.

Catalizadores	Al-Ti-Zr-W (%)	S _{BET} (m ² /g)	Diámetro de poro Dp (nm)	Volumen de poro Vp (cm ³ /g)
TiO ₂	0-100-0-0	8.79	8.0	0.015
TZ1	0-50-50-0	234	3.34	0.24
TZ2	0-25-75-0	246	3.08	0.26
TZ3	0-75-25-0	216	3.48	0.26
TZW ₅₀₀	0-72.5-22.5-5	110	8.99	0.36

En la **Tabla 3** se muestra la distribución de poros de los catalizadores sintetizados por el método sol-gel. Estos óxidos mixtos son mesoporosos (2 a 50 nm). Por otro lado, se observa el TiO₂ comercial tiene un área superficial de 8.79 m²/g, comparando con los catalizadores óxidos mixtos tienen un área superficial desde 110 m²/g para el TZW₅₀₀ y 332 m²/g para AT2. Por lo tanto, se puede observar un efecto de contenido de especies, cuando la alúmina interacciona con otro óxido metálico se genera más área superficial.

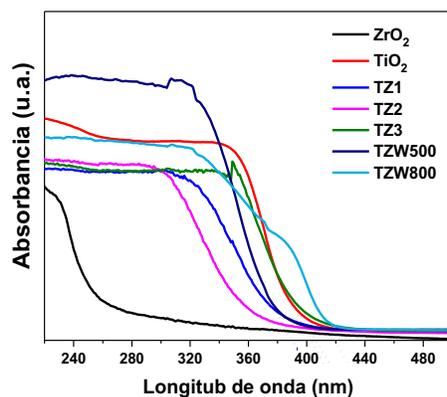
Se generaron diámetros de poros de 3 a 8 nm para los catalizadores calcinados a 500 °C, sin embargo, el aumento de temperatura de calcinación para el catalizador ATZW₈₀₀ el diámetro de poro (>19 nm) y el área (30 a 15 m²/g) superficial puede disminuir, esto se debe que los poros colapsan y forman grandes cavidades que aumentan el tamaño promedio de poro y por lo tanto disminuyen el área superficial como se reporta para catalizadores calcinados a temperaturas de 700 a 900 °C (Zhang, et al., 2018).

UV-Vis con reflectancia difusa de sólidos (DRS)

Los resultados de los UV-Vis de DRS se midieron de la región de 200 a 800 nm para obtener las absorbancias de los catalizadores sintetizadas por el método Sol-Gel. En la Figura 5 se observan los espectros de absorción para cada óxido mixto, para la alúmina (γ-Al₂O₃) presenta una banda de absorción poco intensa que va desde los 200 a 320 nm con una absorción máxima a los 265 nm (Duan, et al., 2009). El TiO₂ es un semiconductor y presenta una banda de absorción de 370 nm, esta banda se asocia a la transferencia de electrones de la

banda de valencia del oxígeno $O2p$ hacia la banda de conducción $Ti3d$, por lo tanto, corresponde a una transición de transferencia de carga $O^{2-} \rightarrow Ti^{4+}$ que corresponde a la excitación de electrones desde la banda de valencia a la banda de conducción (Gutiérrez-Alejandre, et al., s/f).

Figura 5. Espectros de absorbancia UV-Vis de sólidos de los óxidos mixtos sintetizados por el método sol-gel.



Esta absorción máxima del TiO_2 comercial es representativa de la fase anatasa según estudios previos, todos los planos cristalinos de esta fase anatasa se observaron en el DRX mencionados anteriormente en la **Figura 3**.

Para los óxidos mixtos TiO_2-ZrO_2 se puede ver un cambio de absorción entre la ZrO_2 240 nm como está reportado en la literatura y 370 nm del TiO_2 , esto se debe a la interacción Zr^{4+} y Ti^{4+} . Se observa para los catalizadores TZ1 (302 nm) y TZ2 (318 nm) la absorción se encuentra dentro del ultravioleta, sin embargo, para el TZ3 se observa un desplazamiento a la derecha con una absorción de 350 nm esto se debe a la propiedad del semiconductor que genera transiciones electrónicas mayores para este catalizador TiO_2-ZrO_2 .

Para el catalizador $TiO_2-ZrO_2-WO_3$ (TZW) calcinado a 500 °C modificó su banda de absorción al incorporando 5% de tungsteno (WO_3) absorbe en el ultravioleta con un borde de absorción comienza a los 390 nm, ya que, el WO_3 tiene un borde de absorción en el visible tungsteno, esto puede deberse a que los orbitales de $W5d$ que localizan en la banda de conducción de los orbitales $Ti3d$, por las transiciones generadas por la transferencia de carga $O_2 \rightarrow W^{6+}$ se mezclan con las transiciones de carga $O^{2-} \rightarrow Ti^{4+}$, esta interacción puede actuar como recolector

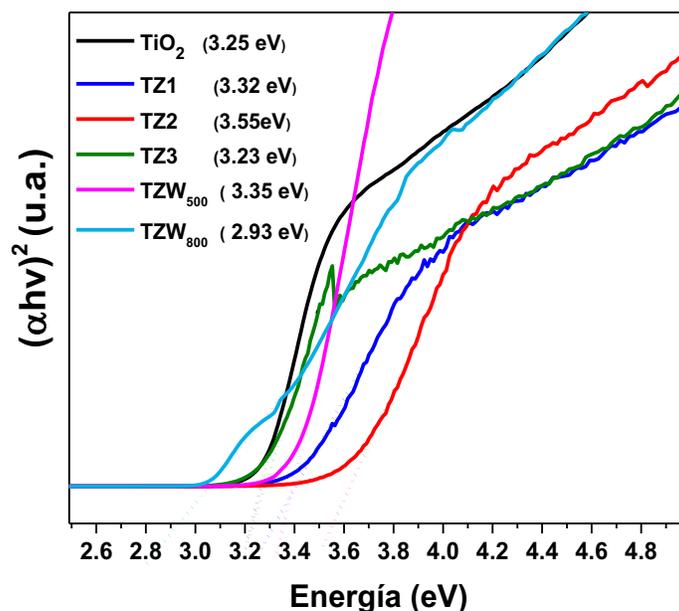
de electrones huecos para reducir la probabilidad de recombinación de carga (Gutiérrez-Alejandre, et al., 2005). Sin embargo, el catalizador TZW calcinado a 800 °C tiene un borde de absorción en el visible a partir de 420 nm.

Las energías de band gap se calcularon mediante el ajuste lineal de la pendiente a la abscisa como se observa en la **Figura 6**. Los cálculos de energías se obtuvieron mediante el método TAUC con las absorbancias de cada catalizador sintetizados por el método Sol-Gel.

Formula de TAUC:

$$(a \cdot hv)^{1/n} = A (hv - E_g); \text{ dónde } A \text{ (absorbancia) y } hv \text{ son constantes.}$$

Figura 6. Energía de Band Gap de los espectros de absorción UV-Vis usando el método TAUC para los catalizadores óxidos mixtos.



El band gap reportado en la literatura para TiO₂ (3.23 eV), WO₃ (2.82 eV), y ZrO₂ (5.0 eV). El TiO₂ comercial coincide con el band gap de 3.23 eV (Basumatary et al., 2022), para los catalizadores la adición de la ZrO₂ con el TiO₂ reduce el band gap 3.23 a 3.55 eV se produce por la transferencia de carga O²⁻ a → Zr⁴⁺ y Ti⁴⁺, sin embargo el catalizador TZ3 generó un band gap más estrecho de 3.23 eV por la fase anatasa como se observó en los DRX.

El catalizador TiO₂-ZrO₂-WO₃ calcinado a 500 °C generó un band gap 3.33 eV muy cercano el band gap reportado para este sistema trióxido mixto TZW 3.4 eV, Hu, et al.,(2018) reporta que la adición de WO₃ disminuye el band gap con otros óxidos mixtos, asimismo, la

cantidad de WO_3 tiene un papel esencial ya que disminuye la energía del band gap y puede actuar como recolector de estos huecos para reducir la probabilidad de recombinación de carga (Namshah, y Mohamed, 2018). Para el catalizador TZW calcinado a $800\text{ }^\circ\text{C}$ generó el band gap 2.93 eV esto puede deberse a la supresión de la de fase anatasa a rutilo con el aumento de temperatura, ya que, contiene especies de ZrTiO_4 . Oanh, et al (2015) reportó que el band gap con estas especies de ZrTiO_4 se aumenta con el incremento de la temperatura de calcinación ($450, 800$ y $1000\text{ }^\circ\text{C}$).

En esta Figura, se puede observar que el band gap más bajo fue el TZW_{800} (2.93 eV), lo que, representaría que es el material más óptimo y sensible para obtener una buena degradación del acetaminofén, ya que, requiere menos energía para formar el par electrón-hueco, promueve la transferencia de electrones y, por lo tanto, se puede lograr una mejor eficiencia fotocatalítica bajo la radiación solar y UV, sin embargo, otro catalizador se puede desempeñar de una mejor manera debido a otras propiedades fisicoquímicas. Las propiedades fisicoquímicas de los catalizadores en la degradación del acetaminofén se describen detalladamente en el apartado IX.

Degradación Fotocatalítica del Acetaminofén.

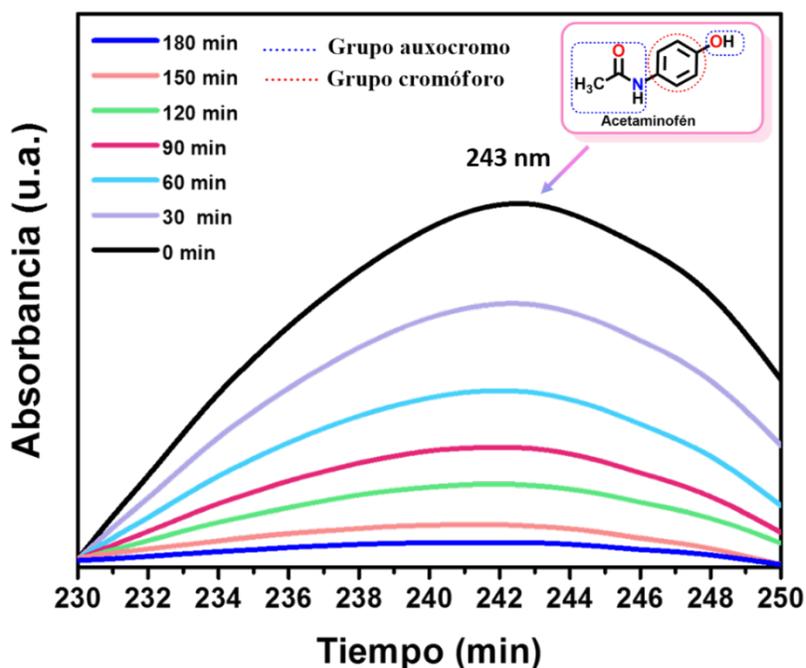
La actividad fotocatalítica de los catalizadores óxidos mixtos en la degradación se realizó bajo radiación de luz Ultravioleta en un espectrofotómetro Uv-vis. De la cual se obtuvo al preparar previamente una solución acuosa de la molécula acetaminofén a 30 ppm con agua destilada.

La estructura del acetaminofén que se muestra arriba de la **Figura 7**, tiene un grupo hidroxilo y un grupo amida en la posición para del anillo de benceno. Estos dos grupos funcionales se conocen como grupos auxocromos, mientras que la conjugación de enlaces $\text{C}=\text{C}$ del anillo bencénico son grupos cromóforo. Por lo tanto, un grupo auxocromo unidos a un grupo cromóforo genera la conjugación directa con el sistema pi del cromóforo, modificando la longitud de onda como la intensidad de absorción (Kambira, et al., 2020).

En la **Figura 7**, se observan los espectros Uv-Vis de la fotodegradación del acetaminofén a diferentes tiempos de reacción, en donde la absorción máxima para el acetaminofén ($\lambda_{\text{max}}=243\text{ nm}$) es atribuida a la transición $n-\pi^*$ del grupo $\text{C}=\text{O}$ (Moctezuma, et al., 2012). Se observa el máximo de absorción en el tiempo 0 min , la fotodegradación continua y se

aprecia la disminución de las bandas características del acetaminofén, por lo tanto, se generó la degradación fotocatalítica de este fármaco.

Figura 7. Espectros UV-Visible de la fotodegradación del acetaminofén del catalizador $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ (TZ3).

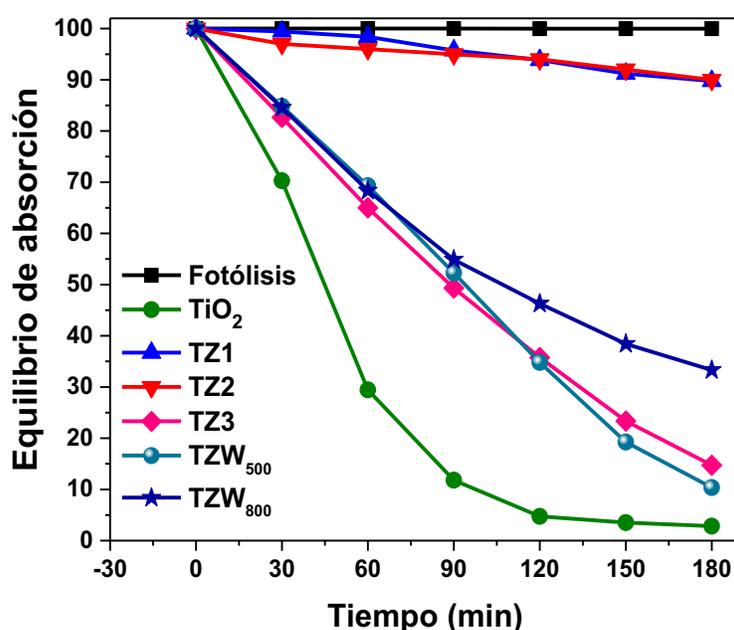


Sin embargo, Jallouli, et al., (2017) reporta que la fotodegradación del acetaminofén en medio acuoso genera intermediarios como p-aminofenol (λ : 320 nm), p-Nitrofenol (λ : 400 nm), 1,4 Hidroquinona (λ : 290 nm) y Benzoquinona (λ : 245 nm).

En la siguiente **Figura 8** se puede observar las degradaciones que se obtuvieron de los catalizadores óxidos mixtos de TiO_2 modificados con ZrO_2 y WO_3 . En algunas investigaciones se realiza la fotólisis para el acetaminofén, Trujillano, et al (2022) evaluó la fotólisis de este fármaco y determinó que la concentración de paracetamol no cambió significativamente en ausencia del catalizador, por lo que debemos concluir que no hubo fotólisis (Trujillano, et al., 2022). Se puede observar que el TiO_2 comercial con fase Anatasa como se observó en los DRX y band gap de 3.23 eV generó un 97% de degradación del acetaminofén a 3 horas de reacción, esto se debe a su habilidad de electrón/hueco comparado con la fase Rutilo (Zyoud, et al., 2020). Katal, et al., (2018) evaluó un catalizador de TiO_2

generando >97% de degradación fotocatalítica del acetaminofén en 3 h de reacción y 88% de carbón orgánico total, los números de sitios Ti^{4+} de la fase Anatasa generaron una alta actividad catalítica (Katal et al., 2018), así mismo, Vaniano, et al., (2018) determinó que la fase anatasa presente en el catalizador TiO_2 fueron responsable de un >95 % de degradación fotocatalítica del acetaminofén a 25 ppm en 3 h de reacción.

Figura 8. Degradación del acetaminofén con los catalizadores óxidos mixtos sintetizados por el método sol-gel.

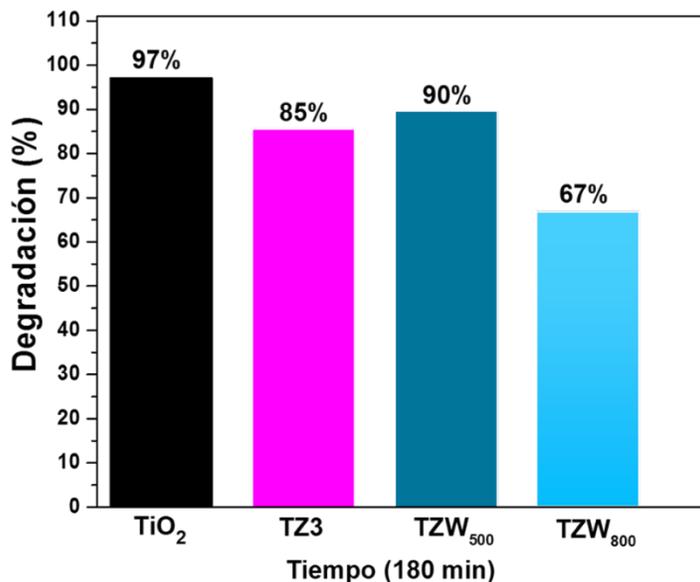


Para los catalizadores TiO_2-ZrO_2 , el catalizador TZ3 generó 85% de degradación de este fármaco, esto se debe a la fase anatasa generada por relación de mayor contenido de TiO_2 de 75:25 %, esta fase se estabilizada con la incorporación de Zr^{4+} en este sistema comparada de los otros catalizadores TZ1 y TZ2 que no presentaron señales de ninguna fase del TiO_2 como se mencionó en DRX son materiales amorfos (Pirzada, et al., 2015). Sin embargo, está reportado si se generarán fases de m- ZrO_2 mejoraría más la eficiencia de la fotodegradación en bajo iluminación UV/visible y visible (Mahy, et al., 2019). Wang, et al menciona que una ventaja de este oxido mixto, es que, no produce la recombinación de los pares excitados de electrones y huecos (Wang, et al., 2021).

Los catalizadores $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ generaron el 90% degradación fotocatalítica del acetaminofén a los 180 min de reacción, se puede ver el efecto de la adicción del WO_3 en el sistema $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ en la degradación de este fármaco comparado con $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$. Yanyan, et al., (2017) reportó que incorporando de WO_3 en porcentajes menores 3%p/p en óxidos de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ mejora significativamente la degradación fotocatalítica del acetaminofén de aguas residuales sintéticas bajo la irradiación UV-VIS. Asimismo, Chau, et al., (2022) demostró que la incorporación del WO_3 en $\text{Cu}_2\text{O-TiO}_2$, este catalizador ternario promovió la separación de los portadores de carga y redujo la recombinación de los portadores de carga y demuestra que h^+ es la especie activa más crucial para iniciar el proceso de fotodegradación del acetaminofén.

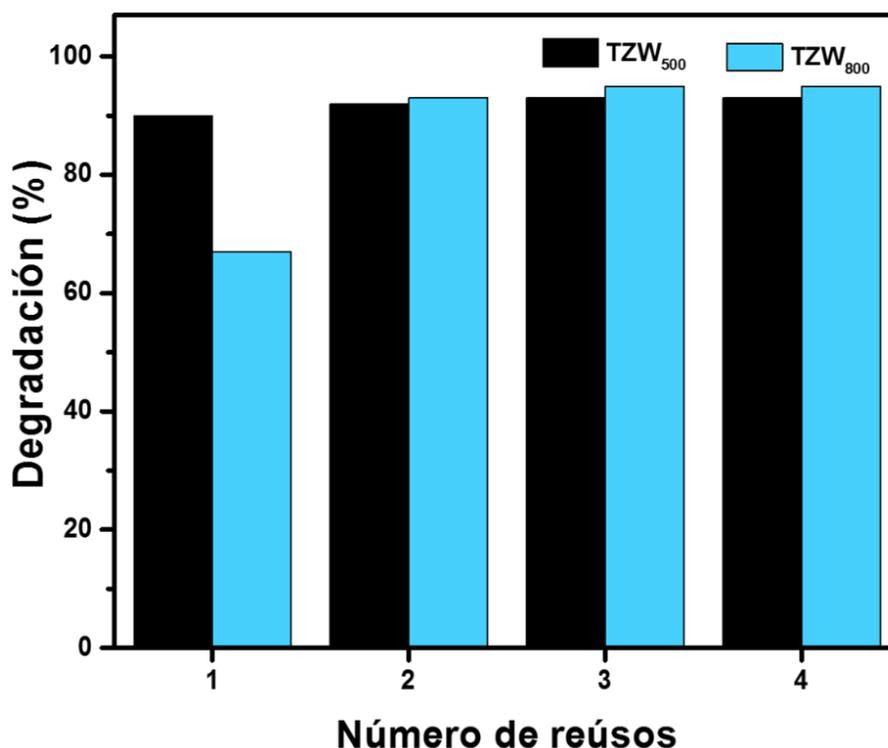
Asimismo, se calcinó el catalizador $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ (TZW800) a 800°C , la temperatura de calcinación para este catalizador se generó Titanatos de zirconio (ZrTiO_4), disminución en el área superficial y una disminución del band gap como esta reportado. La energía del band gap para este catalizador fue la más estrecha con un valor de energía 2.93 eV. Este catalizador generó 67% de degradación fotocatalítica del acetaminofén, esta fotodegradación se genera porque estos fotocatalizadores tienen una estructura cristalina mixta ternario con fases Rutilo TiO_2 , Anatasa TiO_2 y ortorrómbica de ZrTiO_4 , Liu, et al., (2020) utilizó un catalizador con estas mezclas de fases obtenidas a 800°C , pares de electrones de electrón-hueco que reaccionan con O_2 y $\text{H}_2\text{O}/\text{OH}^-$ para generar radicales $\cdot\text{O}^{2-}$ y $\cdot\text{OH}$, respectivamente, que participarán en la siguiente fotodegradación. En la **Figura 9** se puede apreciar mejor los catalizadores que generaron degradación fotocatalítica del acetaminofén.

Figura 9. Degradación fotocatalítica del acetaminofén a los 180 min de reacción.



Se evaluó el rendimiento de reutilización de los catalizadores en la degradación fotocatalítica del acetaminofén en las mismas condiciones de reacción. Los catalizadores fueron recuperados después 180 min de reacción, posteriormente, se dejó por 24 h para obtener un precipitado y después se decantó para desechar la fase acuosa. Finalmente se secó a 80 °C, cabe mencionar que estos residuos de los catalizadores no fueron sometidos a tratamientos térmicos para su activación. En la **Figura 10** se observan los ciclos de reúsos los catalizadores TZW₅₀₀ y TZW₈₀₀ en degradación fotocatalítica del acetaminofén a 180 min.

Figura 10. Número de reúsos de los catalizadores TZW calcinados a 500 y 800°C en la degradación fotocatalítica del acetaminofén.

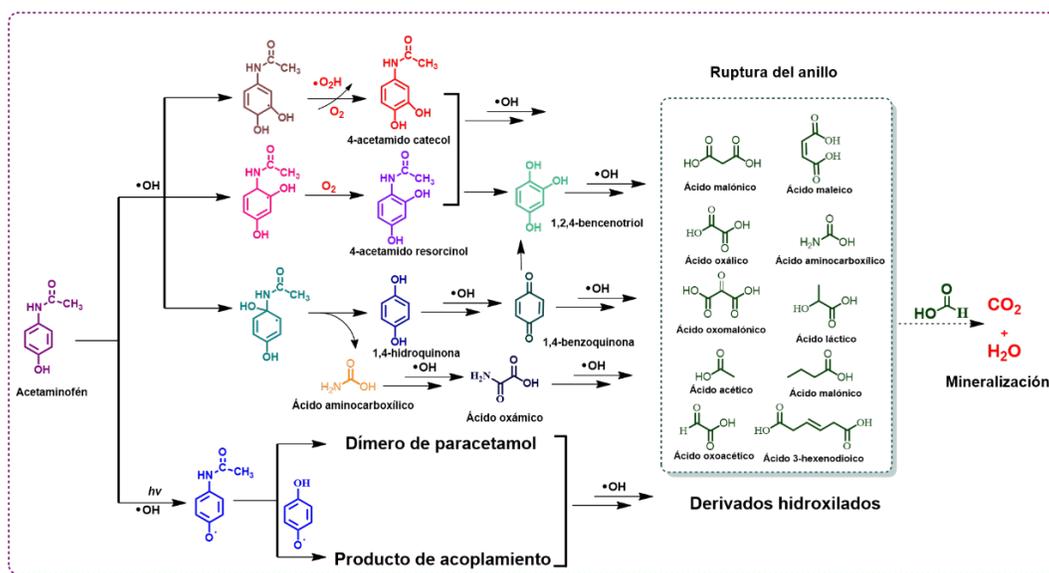


Los resultados revelaron que el catalizador TZW₅₀₀ mejoró su actividad fotocatalítica en el reuso obteniendo un 93% comparado a 90% en la primera reacción. Sin embargo, los reúsos del catalizador TZW₈₀₀ generaron un aumento de 67% hasta 95% en la degradación del acetaminofén. Está reportado que este aumento en la actividad fotocatalítica ocurre porque se genera un cambio en la morfología estructural del material o se genera un aumento de tamaño de partícula después del primer reuso.

Las principales rutas de la fotodegradación del acetaminofén en solución acuosa propuestas se describen en la en el **Esquema 1**. En este esquema se observan tres reacciones iniciales a través de oxidación del acetaminofén por radicales ($\bullet\text{OH}$) y oxidación de compuestos fenólicos aromáticos. En algunas investigaciones no se detecta p-aminofenol, esto se debe que se degrada rápidamente a 1,4-hidroquinona por lo tanto, se descartó una ruta de degradación por desacilación. La oxidación de la 1, 4-hidroquinona se produce a través

de diferentes vías de reacción, generando 1, 2, 4-trihidroxibenceno, benzoquinona y finalmente, con el ataque electrofónico de $\bullet\text{OH}$ en el anillo de benceno sufriera la descomposición e hidroxilación del anillo de benceno mediante la adición de $\bullet\text{OH}$ y la subsiguiente eliminación de H_2O , generando derivados de ácidos dicarboxílicos como ácido maleico, ácido malónico, ácido málico, ácido carboxílico de ácido etc. Finalmente, todos los productos intermedios experimentaron una mineralización completa que condujo a la formación de H_2O y CO_2 (Yanyan, et al., 2017; Moctezuma, et al., 2012; Nasr, et al., 2019; Neamțu, et al., 2013).

Esquema 1. Posibles rutas de fotodegradación del Acetaminofén

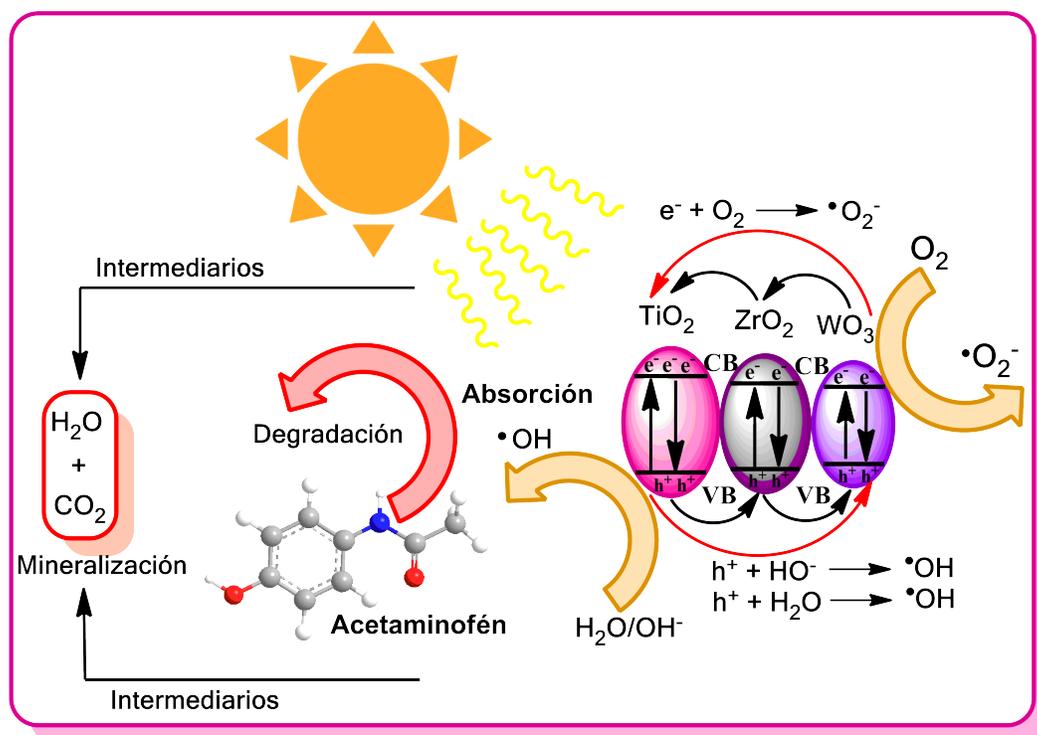


(Yanyan, et al., 2017; Nasr, et al., 2019; Kar, et al., 2021).

En el **Esquema 2** se muestra la degradación fotocatalítica del acetaminofén bajo radiación ultravioleta, se utilizaron catalizadores TiO_2 , TZ y TZW. Los huecos fotogenerados (h^+) y los electrones (e^-) están en su banda de valencia (VB) y banda de conducción (CB) son importantes debido a su papel en la generación de $\bullet\text{OH}$ y $\bullet\text{O}_2^-$, Los pares electrón-hueco en la superficie de los fotocatalizadores se forman a través de la fotoexcitación, los electrones de la banda de conducción reaccionan con el O_2 y los huecos fotogenerados en la banda de valencia atrapadas por el OH^- en su superficie generan radicales $\bullet\text{OH}$, estas especies activas

con fuertes propiedades oxidantes pueden oxidar el acetaminofén a productos carboxílicos y hasta llegar a la mineralización CO_2 y H_2O .

Esquema 2. Mecanismo de transferencia de electrones en la degradación fotocatalítica del acetaminofén con $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$



(Yanyan, et al., 2017; Chau, et al., 2022).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se logró cumplir todos los objetivos planteados. Se sintetizaron los catalizadores $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ y $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-WO}_3$ por el método Sol-Gel.

En los DRX se encontró los planos cristalinos de la fase anatasa en los catalizadores TiO_2 , TZ3, TZW_{500} , asimismo, se encontraron otras fases cristalinas en el catalizador TZW_{800} como fases de rutilo (TiO_2) y Titanatos de zirconio (ZrTiO_4).

En Fisisorción de Nitrógeno se determinaron que son materiales mesoporosos (TiO_2 , TZ1, TZ2, TZ3 y TZW_{500}) con excepción al catalizador TZW_{800} que se generan materiales macroporosos con el aumento de temperatura de calcinación. Se determinó el band gap de los catalizadores con energías de 2.93 a 3.55 eV.

Se logró la fotodegradación del acetaminofén a 30 ppm a 180 minutos de reacción con radiación ultravioleta, donde la fase anatasa presente en el TiO₂ comercial generó el 97% de degradación, sin embargo, los catalizadores TZW generando degradaciones más estables produciendo un 95% hasta 4 horas de reacción. Estos catalizadores ternarios TiO₂-ZrO₂-WO₃ no generan recombinación de los portadores de carga y demuestra que h⁺ es la especie activa más crucial para iniciar el proceso de fotodegradación del acetaminofén.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arevalo-Pérez, J. C., de la Cruz-Romero, D., Cordero-García, A., Lobato-García, C. E., Aguilar-Elguezabal, A., y Torres-Torres, J. G., (2020).** “Photodegradation of 17 α -methyltestosterone using TiO₂-Gd³⁺ and TiO₂-Sm³⁺ photocatalysts and simulated solar radiation as an activation source”, *Chemosphere*, vol. 249, p. 126497, jun. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126497.
- Badli, N. A. y Ali R. (s.f).** “Role of heterojunction ZrTiO₄/ZrTi₂O₆/TiO₂ photocatalyst towards the degradation of paraquat dichloride and optimization study by Box- Behnken design”, p. 9.
- Basumatary, B., Basumatary, R., Ramchiary, A., y Konwar D., (2022).** “Evaluation of Ag@TiO₂/WO₃ heterojunction photocatalyst for enhanced photocatalytic activity towards methylene blue degradation”, *Chemosphere*, vol. 286, p. 131848, ene. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131848.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados S. C., - PDF**”. <http://docplayer.es/61698088-Centro-de-investigacion-en-materiales-avanzados-s-c.html>.
- Chau, J. H. F., Lai, C. W., Leo, B. F., Juan, J. C., y Johan, M. R., (2022).** “Advanced photocatalytic degradation of acetaminophen using Cu₂O/WO₃/TiO₂ ternary composite under solar irradiation”, *Catalysis Communications*, vol. 163, p. 106396, mar. 2022, doi: 10.1016/j.catcom.2022.106396.
- Duan, A., et al., (2009).** “Hydrodesulphurization performance of NiW/TiO₂-Al₂O₃ catalyst for ultra clean diesel”, *Catalysis Today*, vol. 140, núm. 3-4, pp. 187-191, feb. 2009, doi: 10.1016/j.cattod.2008.10.008.

- Gao, Y. et al. (2022).** “Comparative study of degradation of ketoprofen and paracetamol by ultrasonic irradiation: Mechanism, toxicity and DBP formation”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 82, p. 105906, ene. 2022, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105906.
- García-Domínguez, Á. E., et al., (2022).** “Urea assisted synthesis of TiO₂–CeO₂ composites for photocatalytic acetaminophen degradation via simplex-centroid mixture design”, *Results in Engineering*, vol. 14, p. 100443, jun. 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100443.
- Gutiérrez-Alejandre, A., Ramírez, J., Val, I. J, Peñuelas-Galaz, Sánchez-Neri, M P., y Torres-Mancera P., (2005).** “Activity of NiW catalysts supported on TiO₂-Al₂O₃ mixed oxides”, *Catalysis Today*, vol. 107–108, pp. 879–884, oct. 2005, doi: 10.1016/j.cattod.2005.07.103.
- Gutierrez-Alejandre, A., Ramírez, J., y Busca, G., (s.f).** “The electronic structure of oxide-supported tungsten oxide catalysts as studied by UV spectroscopy”, p. 5.
- Hu, D., Li, R., Li, M., Pei, J., Guo, F., y Zhang, S., (2018).** “Photocatalytic efficiencies of WO₃ /TiO₂ nanoparticles for exhaust decomposition under UV and visible light irradiation”, *Mater. Res. Express*, vol. 5, núm. 9, p. 095029, ago. 2018, doi: 10.1088/2053-1591/aad837.
- Jallouli, N., Elghniji, K., Trabelsi, H., y Ksibi, M. (2014).** “Photocatalytic degradation of paracetamol on TiO₂ nanoparticles and TiO₂/cellulosic fiber under UV and sunlight irradiation”, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 10, pp. S3640–S3645, may 2017, doi: 10.1016/j.arabjc.2014.03.014.
- Kambira, P. F. A. et al. (2020).** “Combination uv-vis spectroscopy and partial least square for detecting adulteration paracetamol and piroxicam in traditional medicines”, *J.Pharm.Sci.Community*, vol. 17, núm. 1, pp. 41–50, jun. 2020, doi: 10.24071/jpsc.002354.
- Kar, P., Shukla, K., Jain, P., Sathiyar, G., y Gupta, R. K. (2020).** “Semiconductor based photocatalysts for detoxification of emerging pharmaceutical pollutants from aquatic systems: A critical review”, *Nano Materials Science*, vol. 3, núm. 1, pp. 25–46, mar. 2021, doi: 10.1016/j.nanoms.2020.11.001.
- Katal R., Masudy Panah S., Zarinejad M., Salehi M., y Jiangyong H. (2018).** “Synthesis of Self-Gravity Settling Faceted-Anatase TiO₂ with Dominant {010} Facets for the

- Photocatalytic Degradation of Acetaminophen and Study of the Type of Generated Oxygen Vacancy in Faceted-TiO₂*”, *Water*, vol. 10, núm. 10, p. 1462, oct. 2018, doi: 10.3390/w10101462.
- Liu, C., et al., (2019).** “Enhanced photocatalytic activity by tailoring the interface in TiO₂–ZrTiO₄ heterostructure in TiO₂–ZrTiO₄–SiO₂ ternary system”, *Ceramics International*, vol. 45, núm. 14, pp. 17163–17172, oct. 2019, doi: 10.1016/j.ceramint.2019.05.271.
- Liu, C., Li, X., Xu, C., Wu, Y., Hu, X., y Hou, X., (2020).** “Boron-doped rutile TiO₂/anatase TiO₂/ZrTiO₄ ternary heterojunction photocatalyst with optimized phase interface and band structure”, *Ceramics International*, vol. 46, núm. 13, pp. 20943–20953, sep. 2020, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.05.152.
- Mahy, J. G. et al., (2019).** “Ambient temperature ZrO₂-doped TiO₂ crystalline photocatalysts: Highly efficient powders and films for water depollution”, *Materials Today Energy*, vol. 13, pp. 312–322, sep. 2019, doi: 10.1016/j.mtener.2019.06.010.
- Manriquez, M. E., López T., Gómez, R., y Navarrete, J., (2004).** “Preparation of TiO₂–ZrO₂ mixed oxides with controlled acid–basic properties”, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 220, núm. 2, pp. 229–237, oct. 2004, doi: 10.1016/j.molcata.2004.06.003.
- Moctezuma, E., Leyva, E., Aguilar, C. A., Luna, R. A., y Montalvo C., (2012).** “Photocatalytic degradation of paracetamol: Intermediates and total reaction mechanism”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 243, pp. 130–138, dic. 2012, doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.10.010.
- Namshah, K. S. y Mohamed, R. M., (2018).** “WO₃–TiO₂ nanocomposites for paracetamol degradation under visible light”, *Appl Nanosci*, vol. 8, núm. 8, pp. 2021–2030, nov. 2018, doi: 10.1007/s13204-018-0888-4.
- Nasr, O., Mohamed, O., Al-Shirbini, A.-S., y Abdel-Wahab, A.-M. (2019).** “Photocatalytic degradation of acetaminophen over Ag, Au and Pt loaded TiO₂ using solar light”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 374, pp. 185–193, abr. 2019, doi: 10.1016/j.jphotochem.2019.01.032.

- Neamțu, M., Bobu, M., Kettrup, A., y Siminiceanu, I., (2013).** “Ozone photolysis of paracetamol in aqueous solution”, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 48, núm. 10, pp. 1264–1271, ago. 2013, doi: 10.1080/10934529.2013.776898.
- Oanh, L. T. M. et al., (2015).** “Effects of Crystallinity and Particle Size on Photocatalytic Performance of ZrTiO₄ Nanostructured Powders”, vol. 31, núm. 4, p. 7, 2015.
- Pirzada, B. M., Mir, N. A., Qutub, N., Mehraj, O., Sabir, S., y Muneer, M., (2015).** “Synthesis, characterization and optimization of photocatalytic activity of TiO₂/ZrO₂ nanocomposite heterostructures”, *Materials Science and Engineering: B*, vol. 193, pp. 137–145, mar. 2015, doi: 10.1016/j.mseb.2014.12.005.
- Samal, K., Mahapatra, S., y Hibzur Ali, M., (2022).** “Pharmaceutical wastewater as Emerging Contaminants (EC): Treatment technologies, impact on environment and human health”, *Energy Nexus*, vol. 6, p. 100076, jun. 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100076.
- Sol-gel. (s.f)** <http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-1/Articulos/sol-gel.htm>
- Talukdar, K. et al., (2021).** “Rational construction of CeO₂–ZrO₂@MoS₂ hybrid nanoflowers for enhanced sonophotocatalytic degradation of naproxen: Mechanisms and degradation pathways”, *Composites Part B: Engineering*, vol. 215, p. 108780, jun. 2021, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.108780.
- Trujillano, R., Rives, V., y García, I. (2022).** “Photocatalytic Degradation of Paracetamol in Aqueous Medium Using TiO₂ Prepared by the Sol–Gel Method”, *Molecules*, vol. 27, núm. 9, p. 2904, may 2022, doi: 10.3390/molecules27092904.
- Vaiano, V., Sacco, O., y Matarangolo, M. (2018).** “Photocatalytic degradation of paracetamol under UV irradiation using TiO₂-graphite composites”, *Catalysis Today*, vol. 315, pp. 230–236, oct. 2018, doi: 10.1016/j.cattod.2018.02.002.
- Wang, F. et al., (2021).** “Solvothermal preparation and characterization of ordered-mesoporous ZrO₂/TiO₂ composites for photocatalytic degradation of organic dyes”, *Ceramics International*, vol. 47, núm. 6, pp. 7632–7641, mar. 2021, doi: 10.1016/j.ceramint.2020.11.104.
- Xi, Z., Hong, Z., Huang, F., Zhu, Z., Jia, W., y Li, J. (2020).** “Hydrogenolysis of Glycerol on the ZrO₂-TiO₂ Supported Pt-WO_x Catalyst”, *Catalysts*, vol. 10, núm. 3, p. 312, mar. 2020, doi: 10.3390/catal10030312.

- Yanyan, L., Kurniawan, T. A., Ying, Z., Albadarin, A. B., y Walker, G., (2017).** “Enhanced photocatalytic degradation of acetaminophen from wastewater using WO₃/TiO₂/SiO₂ composite under UV–VIS irradiation”, *Journal of Molecular Liquids*, vol. 243, pp. 761–770, oct. 2017, doi: 10.1016/j.molliq.2017.08.092.
- Zhang, W., Zhu, Y., Xu, H., Gaborieau, M., Huang J., y Jiang, Y. (2018).** “Glucose conversion to 5-hydroxymethylfurfural on zirconia: Tuning surface sites by calcination temperatures”, *Catalysis Today*, p. S0920586118313208, oct. 2018, doi: 10.1016/j.cattod.2018.10.002.
- Zyoud, A. H., et al., (2020).** “Removal of acetaminophen from water by simulated solar light photodegradation with ZnO and TiO₂ nanoparticles: Catalytic efficiency assessment for future prospects”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, núm. 4, p. 104038, ago. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.104038.

HIDROGENACIÓN DEL ÁCIDO LEVULÍNICO A GAMMA- VALEROLACTONA, UNA MOLÉCULA PLATAFORMA SOSTENIBLE DERIVADA DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

Jorge Cortez Elizalde, José Gilberto Torres Torres, Adib Abiu Silahua
Pavón

RESUMEN

En este proyecto de investigación se sintetizaron catalizadores monometálicos con el 15% Níquel soportados $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ (Ni/ATZ), para la producción de molécula de plataforma como la γ - Valerolactona (GVL) a través de la hidrogenación del ácido levulínico (AL) produciendo un 84.74% de GVL y una conversión de 100% de ácido levulínico a 24 h utilizando Metanol como disolvente a 170°C y 4 Mpa de presión H_2 . Los catalizadores se caracterizaron mediante diversas técnicas que incluyen XRD, Fisisorción de N_2 , XPS y FT-IR Py_{ad} . La conversión de LA en GVL y ML se ve afectada por la presencia de sitios ácidos y metálicos presente en la superficie del catalizador.

Palabras Clave: γ - Valerolactona, ácido levulínico, Catalizador, Hidrogenación.

Introducción

El gran desarrollo y crecimiento social ha generado problemas ambientales y energéticos relacionados con las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, así mismo, el agotamiento de los recursos fósiles convencionales ha motivado a la sociedad científica a desarrollar alternativas prometedoras a los combustibles fósiles en el futuro cercano. En este sentido, la biomasa lignocelulósica ha sido identificada como una materia prima prometedora debido a que es abundante, relativamente barata y renovable (Martínez Figueredo, et al., 2020). La biomasa es una fuente de energía renovable más abundante y económica por eso es la alternativa más prometedora para la producción de biocombustibles.

La conversión catalítica de la biomasa y sus productos químicos derivados se ha convertido en una búsqueda en la producción de productos químicos versátiles, ya que, tienen el potencial de reemplazar muchos productos derivados del petróleo (Srinivasa Rao, et al., 2021).

DESARROLLO

La biomasa lignocelulósica ha llamado mucho la atención debido a que es la materia prima renovable más abundante y económica. Esta biomasa lignocelulósica podría suplir la demanda de combustibles fósiles, la conversión de biomasa lignocelulósica puede producir biocombustibles y productos químicos sostenibles (Ge, et al., 2018). La biomasa lignocelulósica puede encontrarse muy fácilmente en la naturaleza como hojas, tallos, etc. Está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y la lignina, se pueden aprovechar las hexosas y pentosas de fracciones de hemicelulosa y celulosa para obtener moléculas plataforma como 5-Hidroximetilfurfural y ácido levulínico que son intermediarios de productos químicos de alto valor (Rapado, et al., 2021). La GVL es una sustancia química no tóxica, biodegradable, segura y que existe naturalmente y que puede utilizarse como aditivo alimentario (Dutta, et al., 2019). Actualmente, se está investigando y desarrollando la tecnología para utilizar GVL como precursor de biocombustibles (alcanos C_8/C_{18} y 2-metiltetrahidrofurano) y de compuestos químicos de alto valor, como el 1,4-pentanodiol, el metil pentanoato, líquidos iónicos y polímeros (Yan, et al., 2015). Para la producción de gVL es a partir de la hidrogenación y deshidratación del ácido levulínico con catalizadores heterogéneos monometálicos Ni/ATZ que tiene propiedades adecuadas para la obtención de rendimientos altos.

MÉTODO

Preparación de los catalizadores Al_2O_3 - TiO_2 - ZrO_2 (ATZ)

En este trabajo, se sintetizaron óxidos mixtos Al_2O_3 - TiO_2 - ZrO_2 por el método sol-gel a temperatura ambiente variando su composición en peso (33/33/33= ATZ1, 40/40/20= ATZ2, 20/40/40= ATZ3 %p/p respectivamente). Se usaron las siguientes relaciones molares con el fin de obtener materiales porosos: alcóxido/butanol=1/8 en volumen y alcóxido/agua=1/16 en volumen, se mantuvo con agitación durante 24 horas para obtener el

gel. Posteriormente se obtuvo un gel que se sometió a un proceso de secado en una estufa a 120 °C durante 48 horas. Estos materiales se sometieron a un proceso térmico de calcinación a 550°C durante 12 horas con una rampa de temperatura de 2°C/min.

Preparación del catalizador monometálico Ni/Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ por método de Impregnación vía húmeda (WI)

La impregnación de los catalizadores monometálicos de níquel se llevó a cabo por el método de vía húmeda de Níquel al 15 % en 5g de soporte, se realizó a partir de una disolución de 100ml de agua bidestilada con la sal precursora de Ni (NO₃)₂.6H₂O (Sigma-Aldrich) posteriormente se adicionó en un matraz balón en donde se agregaron 5g de soporte, se mantuvo en agitación en el equipo de rotavapor por 4 horas. Se separó a vacío por rotavapor a una temperatura de 60 °C, se dejó en la estufa 12 horas a 120 °C. Finalmente se sometió a un proceso de calcinación a 2°C/min en flujo de O₂ a 400 °C, posteriormente se llevó a cabo la reducción en flujo de H₂ a 400 °C por 4 horas.

Preparación del catalizador monometálico Ni/Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ por método de suspensión (SM)

En 2 gramos de soporte se purgó en reactor de cuarzo con nitrógeno durante 10 min a temperatura ambiente, luego se redujo con flujo de H₂ durante 3 hora a una temperatura de 300 °C, después de la reducción se dejó enfriar la muestra con hidrogeno hasta alcanzar la temperatura ambiente, se continuo a purgar el reactor con N₂ por 30 min. Se adicionaron la solución Ni (NO₃)₂.6H₂O (Sigma- Aldrich) en 20 ml de agua destilada, posteriormente se purgo con N₂ por 10 min, Se introdujo una solución de níquel al 15% en el área de desgasificación y se le hizo burbujear N₂ cuidadosamente para eliminar las trazas de oxígeno, se adicionó la solución de níquel al reactor donde se encontraba el soporte ATZ y se burbujeo N₂ por una hora para que la reacción se llevara a cabo. El catalizador monometálicos preparado se secó con H₂ a temperatura ambiente por 12 horas para secarlo. Se activó a través de una reducción con H₂ a una temperatura de 400°C y una rampa de calentamiento de 2°C/min durante 4 horas.

RESULTADOS

Fisorción de Nitrógeno

Las propiedades texturales del sapote ATZ3 y de los catalizadores de níquel Ni/ATZ3 sintetizados por diferentes métodos IVH y MS se examinaron mediante un análisis de

fisisorción de N₂ a -196 ° C y los resultados de las áreas de superficiales (S_{BET}), volúmenes de poros (V_{BJH}) y tamaños de poros (Dp) promedio de estas muestras en la **Tabla 1**, en esta tabla podemos observar que el soporte ATZ3 tienen más área superficial de 210.65 m²/g, un Dp de 4.12 nm y un V_{BJH} 0.34 cm³/g, después de la impregnación del Níquel los catalizadores monometálicos Ni/ATZ3 estos valores disminuyen respectivamente Ni⁰NiO/ATZ3_{wi}:184.77, Ni⁰/ATZ3_{SM}: 183.15, NiO/ATZ3_{wi}: 162.78 m²/g, por lo tanto, esta disminución de área superficial disminuyen debido a la incorporación del metal del Níquel puede causar el bloqueo de los poros del soporte (Lee, et al., 2019; Ortega-Domínguez et al., 2017). Así mismo, se observó para el catalizador Ni⁰NiO/ATZ3_{wi} el tamaño y el volumen de los poros disminuye mientras que para los catalizadores Ni⁰/ATZ3_{SM} y NiO/ATZ3_{wi} hubo un aumento de Dp y V_{BJH}, esto es causado por las partículas de Níquel que se distribuyen y se anclan en diferentes sitios de soporte que pueden causar el ensanchamiento de algunos poros estrechos y el bloqueo de otros.

Tabla 1. Propiedades texturales y área superficial del soporte y catalizadores monometálicos sintetizados por los métodos IVH y MS

Catalyst	%w/w	Surface area S _{BET} (m ² /g)	Pore size Dp (nm)	Pore volume V _{BJH} (cm ³ /g)
ATZ3	20-40-40	210.65	4.12	0.34
Ni ⁰ NiO/ATZ3 _{wi}	15% Ni	184.77	4.03	0.26
Ni ⁰ /ATZ3 _{SM}	15% Ni	183.15	7.51	0.48
NiO/ATZ3 _{wi}	15% Ni	162.78	5.21	0.32

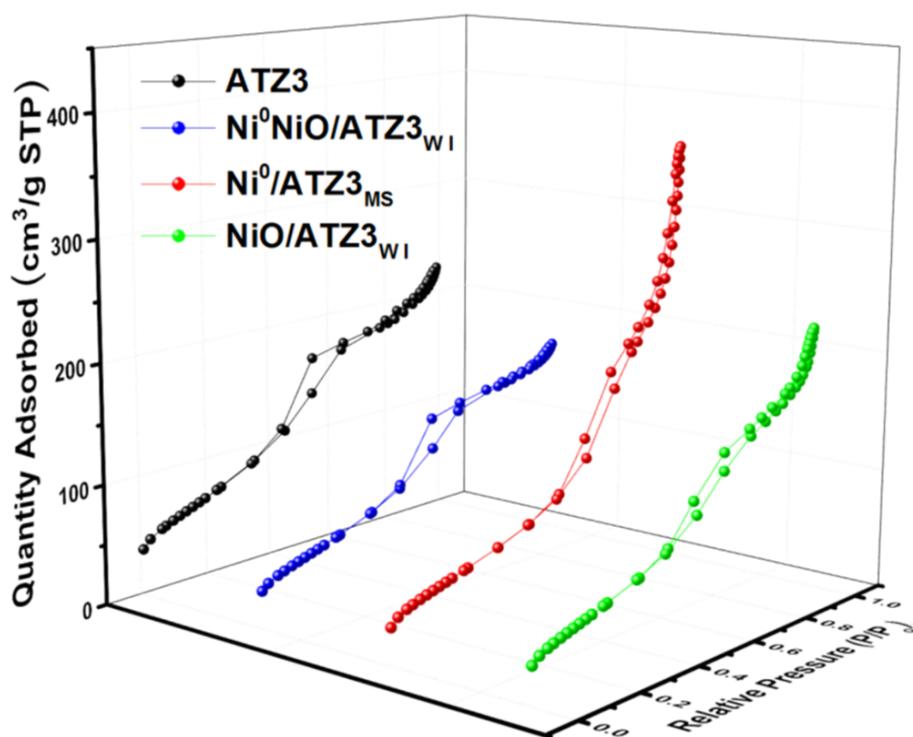
WI: Impregnación vía húmeda

SM: método de suspensión

Las isothermas de adsorción-desorción de N₂ del soporte ATZ3 y de los catalizadores de Ni/ATZ se muestran en la **Figura 1**. De acuerdo con las recomendaciones de la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) estas isothermas de Langmuir corresponden a un tipo IV lo que indica la formación de la estructura mesoporosa (2-50 nm) (Lyu, et al., 2021). Cuando el incremento de la cantidad adsorbida de una alta presión ocurre mediante un mecanismo en multicapas, se hace el llenado de poros y se genera el fenómeno de condensación capilar llamado histéresis. Todos los materiales tienen un aumento distintivo en la capacidad de adsorción en un rango 0.4 a 0.98 p/p₀, aquí aparece un bucle de histéresis

en la isoterma de adsorción y desorción. Según la normativa IUPAC, se puede observar dos tipos de lazo de histéresis tipo H1 y H2, donde el tipo de histéresis de tipo H1 corresponde a poros cilíndricos (Nabgan, et al., 2020), mientras que la histéresis de tipo H2 indica que la estructura comúnmente asociados a la presencia de poros en forma de cuello de botella(Wang, et al., 2021)

Figura 1. Isothermas de adsorción de los soportes y catalizadores monometálicos sintetizados por los métodos WI y SM.

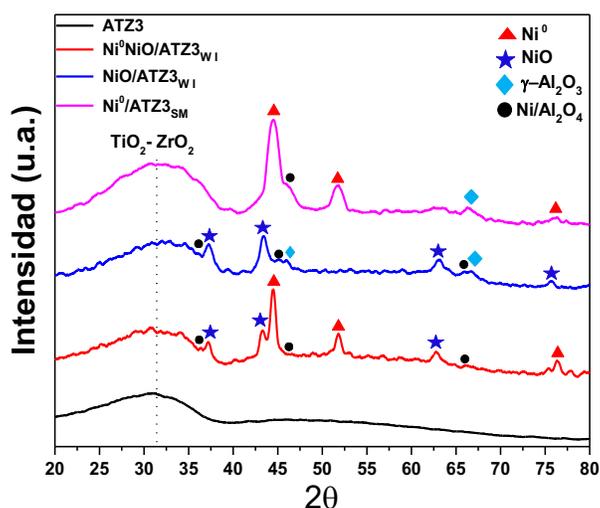


Difracción de rayos X

En la **Figura 2** se muestran los patrones XRD del soporte ATZ3 y de los catalizadores monometálicos Ni/AT3 sintetizados por diferentes métodos de síntesis (WI y SM). Se puede apreciar en el difractograma que el soporte ATZ3 es completamente amorfo, porque se observa un pico agudo en el intervalo de $[2\theta=17.8^\circ, 38.9^\circ]$ correspondiente a la interacción entre TiO₂-ZrO₂(Chaudhary, et al., 2018). Para los catalizadores monometálicos Ni/Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ sintetizados por el método impregnación vía humea (WI), se generaron dos catalizadores Ni⁰NiO/ATZ3_{WI} y NiO/ATZ3_{WI}, estos catalizadores monometálicos se

encontraron diferentes fases de níquel, como se observa en el difractograma para el catalizador $\text{Ni}^0/\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ se encontraron mezclas de fases de metálico (Ni^0) exhibiendo picos en 44.39° , 51.71° y 76.27° correspondiente de los planos (111), (200) y (220) de Ni^0 metálico (JCPDS-ICDD No. 04-0850) (Wang, et al., 2021), para el níquel oxidado (NiO) se exhibieron los picos en 37.23° (111), 43.25° (200) y 62.93° (220) corresponden a la fase NiO (JCPDS-ICDD No. 47-1049) con estructura cubica centrada en las caras (FCC) (Kozonoe, et al., 2020). Asimismo, Para el catalizador $\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ que fue calcinada en una atmosfera oxidada solo genera especies de NiO presentando picos en 2θ : 37.22° (111), 43.33° (200) 62.96° (220), $75,50^\circ$ (311) correspondientes a NiO con estructura cúbico (FCC) (Li, et al., 2018). El difractograma para este catalizador $\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ mostró dos fases cristalinas principales: se observaron picos en $2\theta = 40^\circ$, 46.13° (400) y 66.61° (440) característicos de la $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (JCPDS No 75-092) (El Doukkali, et al., 2012), también se observaron señales aluminatos de níquel NiAl_2O_4 (JCPDS 10-0339) exhibiendo los planos (311), (400) y (440) con estructura espinela (Kiritani, 2000). En este mismo difractograma se encontraron señales del catalizador $\text{Ni}^0/\text{ATZ3}_{\text{SM}}$ sintetizados por el método de suspensión solo se pueden observar fases de Ni^0 metálico de los picos correspondiente de los planos en 44.39° (111), 51.71° (200) y 76.27° (220) de Ni^0 metálico con estructura FCC.

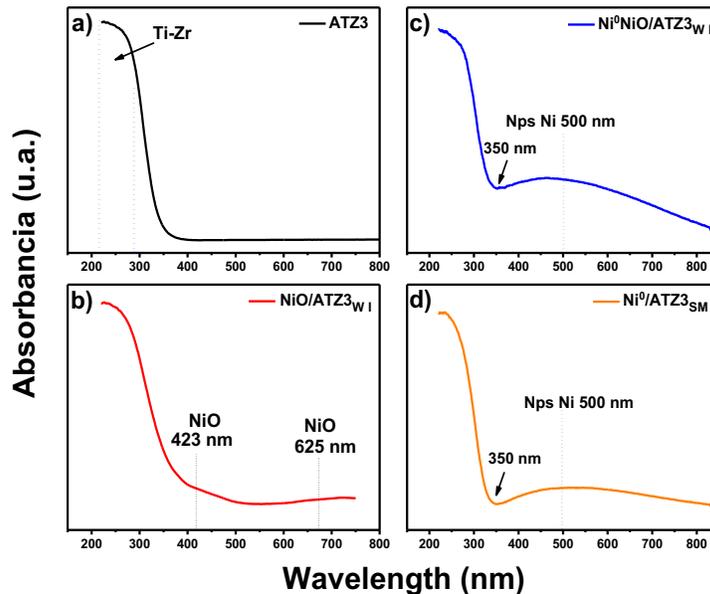
Figura 1. Patrones de DRX del soporte y los catalizadores de níquel soportados en $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ preparados por los métodos WI y SM.



Espectroscopia Uv/Vis DRS

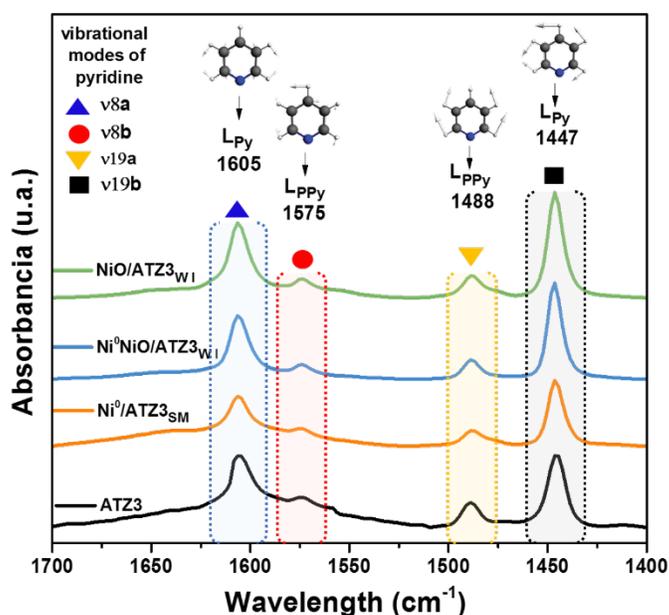
Los resultados por espectroscopia de los materiales por reflectancia difusa UV-Visible/DRS en el rango del espectro de 200 nm a 800 nm se muestran en la **Figura 3**. En el espectro UV-Visible/DRS de la **Figura 3a)** representa al soporte ATZ3 no se observan bandas de absorción de Al_2O_3 . El borde de absorción en de este oxido mixto (ATZ3) se localizó a aproximadamente 350 nm, así mismo, se observó bandas de absorción altas en 218 a 290 nm correspondientes a cationes titanio Ti^{4+} (Das, 2002). En la **Figura 3b)** podemos ver el espectro del catalizador $\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ se pueden observar las bandas a 360-750 nm se asignaron a las especies de Ni^{2+} coordinadas octaédricamente y a una coordinación tetraédrica en la red de NiO (Ragupathi, et al., 2017). En la **Figuras 3c)** y **4d)** se muestran los espectros de los catalizadores monometálicos $\text{Ni}^0/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ y $\text{Ni}^0/\text{ATZ3}_{\text{SM}}$, las especies de níquel tienen varias señales que van de 350 a 700 nm (Mitrici, et al., 2017) pero a 500 nm corresponde a la absorción del plasmón superficial efecto de resonancia relacionado con la formación de nanopartículas de níquel metálico (Ni^0) (Mahesh, y Kuo, 2015).

Figura 3. Uv/Vis-DRS del soporte y los catalizadores de níquel soportados en $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ preparados por los métodos WI y SM.



Para evaluar la naturaleza de los sitios ácidos del soporte ATZ3 y los catalizadores monometálicos Ni/ATZ3 (después del procedimiento de reducción), se realizó la Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier de adsorción con Piridina (FT-IR Py_{ad}). El análisis FT-IR Py_{ad} determina la acidez cualitativa y cuantitativa de los sitios ácidos de Lewis y Brönsted presentes en la superficie del catalizador a través de la adsorción de piridina. En la **Figura 4** se encuentran las bandas vibratorias de estiramiento del anillo de la piridina en la región de $1700-1400\text{ cm}^{-1}$ (B., et al., 2018). Cuando la piridina interactúa con los grupos hidroxilos en la superficie del material y genera la Protonación PyH^+ en ión piridinio así los sitios de tipo Brönsted (Galano, et al., 2008). Cuando existe la Interacción del par de electrones de la piridina con los cationes metálicos en la superficie el material, la piridina se enlaza coordinadamente y es fuertemente adsorbida en sitios ácidos de tipo Lewis L_{Py} y L_{PPy} (Romero Toledo, et al., 2018). Todos los óxidos mixtos exhiben el patrón de las bandas con los modos vibracionales de estiramiento para piridina adsorbida sobre la interacción con un sitio ácido. En $\nu_{8a}:1605$, $\nu_{8b}:1575$, $\nu_{19a}:1488$ y $\nu_{19b}:1447\text{ cm}^{-1}$ (Radziuk, y Möhwald, 2016) característicos de los sitios de ácidos de Lewis (Zakharova, et al., 2017).

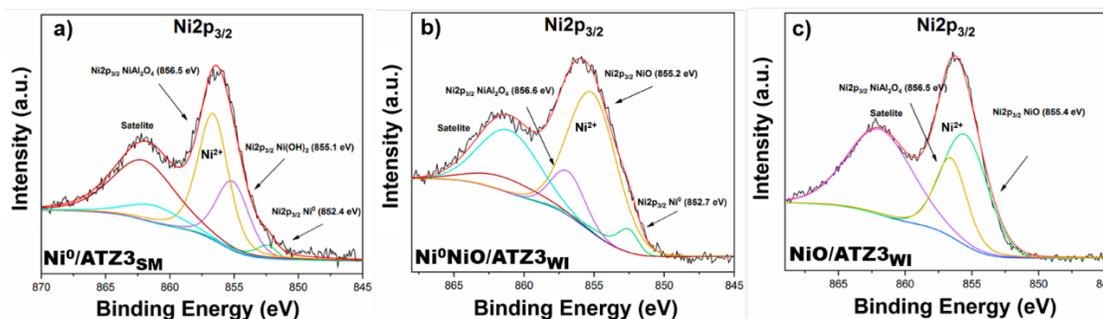
Figura 4. Espectros FTIR de Piridina del soporte ATZ3 y de los catalizadores monometálicos Ni/ATZ3 sintetizados por los métodos WI y SM.



Espectroscopía Fotoelectrónica de Rayos X (XPS) de Alta Resolución

Es una de las técnicas analíticas más empleadas para analizar la superficie química de los materiales. Su principio físico básico es el efecto fotoeléctrico. XPS es una técnica cuantitativa fuerte, adecuada para demostrar los estados de oxidación de elementos, así como estructuras electrónicas y composiciones elementales en materiales. Los espectros XPS al nivel de núcleo de $\text{Ni}2p_{3/2}$ se encuentran en la **Figura 5** corresponde a los catalizadores monometálicos $\text{Ni}/\text{ATZ3}$. Todos los espectros de XPS de $\text{Ni} 2p_{3/2}$ de los catalizadores con distintas fases de níquel (Ni^0 , Ni^0NiO y NiO) exhiben un principal pico a 851–858 eV y un pico de satélite a una unión de más alta energía (BE) de 860–869 eV. Estos espectros indicaron que el Ni apareció en varios estados de oxidación a partir de la deconvolución del pico principal de $\text{Ni} 2p_{3/2}$ que generó tres picos 852.4, 855.1, 856.5 eV para Ni^0 , Ni^{2+} respectivamente (Kho, et al., 2017). En la **Figura 5** se pueden observar los catalizadores monometálicos de níquel generan especies de níquel metálico que varía 6.3 a 9.2 % Ni^0 , $\text{Ni}(\text{OH})_2$ y NiO .

Figura 5. Espectros XPS nivel del núcleo de $\text{Ni}2p_{3/2}$ en catalizadores monometálicos $\text{Ni}/\text{ATZ3}$



EVALUACIÓN CATALITICA DE LA γ -VALEROLACTONA A PARTIR DE ÁCIDO LEVLÍNICO CON CATALIZADORES MONO Y BIMETÁLICOS $\text{NiW}/\text{AL}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$.

La evaluación catalítica para la producción de la γ -Valerolactona (gVL) a partir ácido levulínico (AL) se llevó a cabo en un reactor de autoclave de acero inoxidable para alta presión y temperatura de 50 mL con calentador y agitador magnético. Los resultados obtenidos de la actividad catalítica en condiciones de reacción idénticas (en metanol, 170 °C,

4 MPa y 24 h) en la conversión del ácido levulínico (LA) a γ -Valerolactona (GVL) sobre las diferentes fases de níquel (Ni^0 , Ni^0NiO , NiO) de los catalizadores Ni/ATZ3 se analizan a continuación. Se evaluó el soporte ATZ3 en esta reacción, pero no se obtuvo rendimientos de la GVL, esto sucede porque el catalizador solo contiene sitios ácidos, se generó una conversión del 100% del LA y posiblemente un rendimiento elevado ($\text{ML} > 90\%$) para el metil levulinato (ML). Esta reportado por Di *et al* que los levulínatos de alquilo, especialmente el levulinato de metilo (ML) y el levulinato de etilo (EL), se sintetizan comúnmente mediante la esterificación de LA en medios con alcoholes (MeOH, EtOH, etc.) en presencia de ácido sulfúrico o catalizadores heterogéneos ácidos (Di, et al., 2019). Todos los catalizadores monometálicos generaron una conversión del 100% del LA, en la **Figura 6** se observan los resultados detalladamente de la hidrogenación del AL a gVL sobre el catalizador $\text{Ni}^0/\text{ATZ3}_{\text{SM}}$, donde la sinergia entre los sitios ácidos y contiene 9.2 % de Ni metálicos, estos sitios generaron un rendimiento de 84.74% y una selectividad del 84% de la GVL a 24 horas de reacción. En la **Figura 7** el catalizador $\text{Ni}^0\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$ que generó un rendimiento de 61.04% de la GVL esta disminución de rendimiento se generó por la disminución de sitios metálicos 6.3% de Ni^0 , sin embargo, el catalizador solo con la fase oxidada de níquel $\text{NiO}/\text{ATZ3}_{\text{WI}}$, generó un máximo rendimiento 4.47% como se observa en la **Figura 8** y una selectividad muy baja de la GVL a 24 hora de reacción. Lo cual convierte a este catalizador no óptimo para la producción de la GVL.

Figura 6. Reacción por hidrogenación de transferencia catalítica (CTH) del de ácido levulínico a γ -Valerolactona sobre el catalizador $\text{Ni}^0/\text{ATZ3}_{\text{SM}}$.

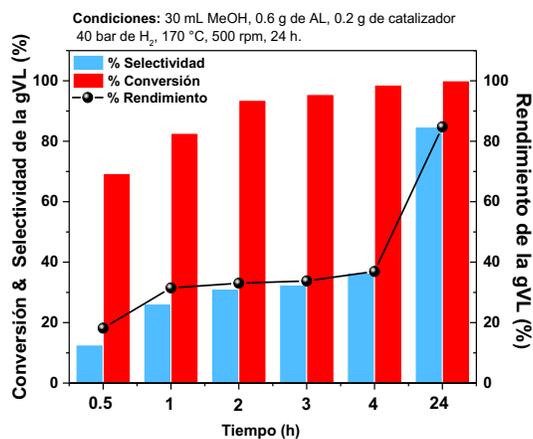


Figura 7. Reacción por hidrogenación de transferencia catalítica (CTH) del de ácido levulínico a γ -Valerolactona sobre el catalizador Ni⁰NiO/ATZ3_{WI}.

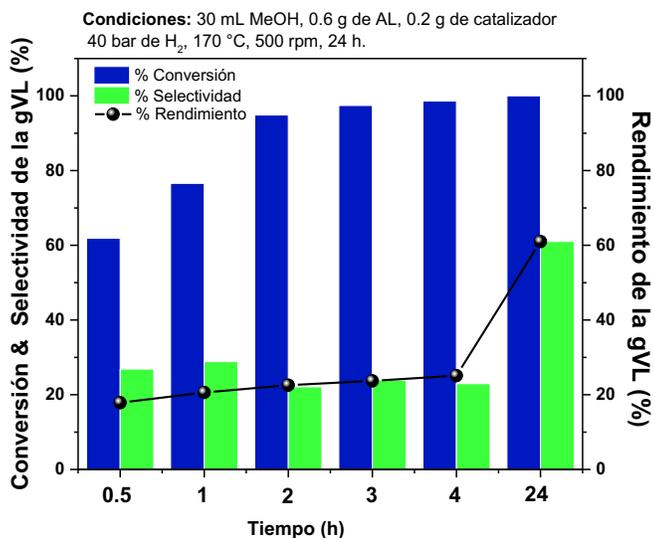
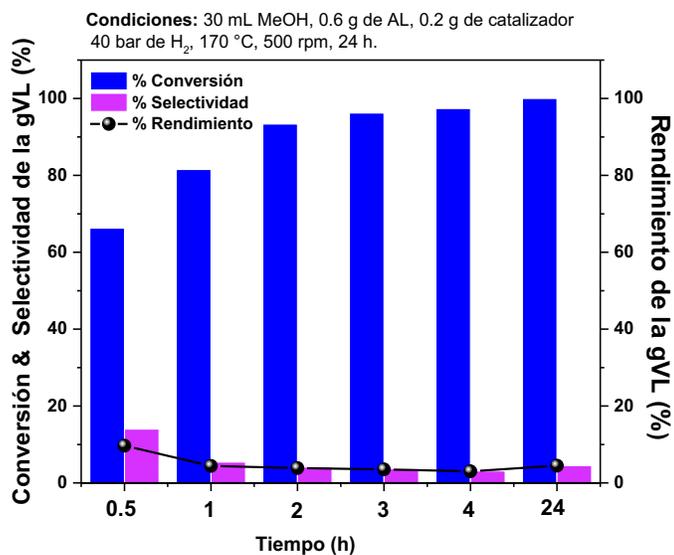


Figura 8. Reacción por hidrogenación de transferencia catalítica (CTH) del de ácido levulínico a γ -Valerolactona sobre el catalizador NiO/ATZ3_{WI}.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las hidrogenaciones catalíticas heterogéneas son reacciones muy valoradas a nivel industrial, asimismo, se busca el uso de catalizadores con metales no nobles como el níquel que tienen propiedades de hidrogenación con obtenciones de rendimientos altos. En este trabajo se demostró que catalizadores monometálicos Ni/ATZ3 con el 15% de Ni preparados con diferente método de síntesis exhibieron distintas fases de níquel Ni⁰, Ni⁰NiO y NiO. Estas fases mostraron la reducción parcial de compuestos de níquel (NiO, Ni(OH)₂, NiAl₂O₄) pueden catalizar eficazmente reacciones de hidrogenación del ácido levulínico (AL) a γ -valerolactona (GLV). Todos los catalizadores presentaron una conversión del 100% del AL, por lo tanto, el catalizador más óptimo para hidrogenación fue el Ni⁰/ATZ3_{SM} obtuvo una alta selectividad y un rendimiento de 84.74% de la GVL a 24 horas de reacción en MeOH, una presión de 40 bar H₂ y una temperatura de 170 °C, estos buenos rendimientos fue producida por la sinergia entre los sitios ácidos de Lewis (Ni²⁺) y los sitios metálicos (Ni⁰) para llevar a cabo las reacciones de esterificación, hidrogenación y deshidratación para la obtención de la de esta molécula plataforma como la GVL.

Propuesta

La GVL es una molécula de plataforma muy versátil porque se pueden generar moléculas de alto valor agregado, se pueden generar aditivos para combustibles, solvente, polímeros, combustibles (gasolina, turbosina) y Biocombustibles, esto aprovechando la biomasa residual o lignocelulósica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

B., S. R.; P., K. K.; D., D. L.; N., L., (2017). *One Pot Selective Transformation of Biomass Derived Chemicals towards Alkyl Levulinates over Titanium Exchanged Heteropoly Tungstate Catalysts.* *Catal. Today* 2018, 309, 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.05.040>.

Chaudhary, M., Shen, P., y Chang, S., (2018). *The Roles of Phosphate and Tungstate Species in Surface Acidities of TiO₂-ZrO₂ Binary Oxides – A Comparison Study.* *Appl. Surf. Sci.* 2018, 440, 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.269>.

- Das, D., (2002).** *Preparation, Physico-Chemical Characterization and Catalytic Activity of Sulphated ZrO₂-TiO₂ Mixed Oxides.* *J. Mol. Catal. Chem.* 2002, 189 (2), 271–282. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(02\)00363-1](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(02)00363-1).
- Di, X., Zhang, Y., Fu, J., Yu, Q., Wang, Z., y Yuan, Z., (2019).** *Biocatalytic Upgrading of Levulinic Acid to Methyl Levulinate in Green Solvents.* *Process Biochem.* 2019, 81, 33–38. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.03.024>.
- Dutta, S., Yu, I. K. M., Tsang, D. C. W., Ng, Y. H., Ok, Y. S., Sherwood, J., y Clark, J. H., (2019).** *Green Synthesis of Gamma-Valerolactone (GVL) through Hydrogenation of Biomass-Derived Levulinic Acid Using Non-Noble Metal Catalysts: A Critical Review.* *Chem. Eng. J.* 2019, 372, 992–1006. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.199>.
- El Doukkali, M., Iriondo, A., Arias, P. L., Requies, J., Gandariás, I., Jalowiecki-Duhamel, L., y Dumeignil, F. A., (2012).** *Comparison of Sol-Gel and Impregnated Pt or/and Ni Based γ -Alumina Catalysts for Bioglycerol Aqueous Phase Reforming.* *Appl. Catal. B Environ.* 2012, 125, 516–529. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.06.024>.
- Galano, A., Rodriguez-Gattorno, G., y Torres-García, E. A., (2008).** *Combined Theoretical-Experimental Study on the Acidity of WO_x-ZrO₂ Systems.* *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2008, 10 (28), 4181. <https://doi.org/10.1039/b802934b>.
- Ge, X., Chang, C., Zhang, L., Cui, S., Luo, X., Hu, S., Qin, Y., y Li, Y., (2018).** *Conversion of Lignocellulosic Biomass Into Platform Chemicals for Biobased Polyurethane Application.* In *Advances in Bioenergy*; Elsevier, 2018; Vol. 3, pp 161–213. <https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2018.03.002>.
- Kho, E. T., Jantarang, S., Zheng, Z., Scott, J., y Amal, R., (2017).** *Harnessing the Beneficial Attributes of Ceria and Titania in a Mixed-Oxide Support for Nickel-Catalyzed Photothermal CO₂ Methanation.* *Engineering* 2017, 3 (3), 393–401. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.016>.
- Kiritani, M., (2000).** *Similarity and Diference between Fcc, Bcc and Hcp Metals from the Viewpoint of Point Defect Cluster Formation.* *J. Nucl. Mater.* 2000, 9.
- Kozonoe, C. E., Brito Alves, R. M., y Schmal, M., (2020).** *Influence of Feed Rate and Testing Variables for Low-Temperature Tri-Reforming of Methane on the Ni@MWCNT/Ce Catalyst.* *Fuel* 2020, 281, 118749. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118749>.

- Lee, J.-H., Lee, I.-G., Park, J.-Y., y Lee, K.-Y., (2019).** *Efficient Upgrading of Pyrolysis Bio-Oil over Ni-Based Catalysts in Supercritical Ethanol.* *Fuel* 2019, 241, 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.025>.
- Li, B., Lin, X., Luo, Y., Yuan, X., y Wang, X., (2018).** *Design of Active and Stable Bimodal Nickel Catalysts for Methane Reforming with CO₂.* *Fuel Process. Technol.* 2018, 176, 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.03.032>.
- Lyu, C., Zhou, X., Lu, X., Zhang, Y., Li, C., Zhou, Q., Sun, Z., y Chen, G., (2021).** *The Effect of Particle Size on the Interpretation of Pore Structure of Shale by N₂ Adsorption.* *Geofluids* 2021, 2021, e8898142. <https://doi.org/10.1155/2021/8898142>.
- Mahesh, K. P. O., y Kuo, D.-H., (2015).** *Synthesis of Ni Nanoparticles Decorated SiO₂/TiO₂ Magnetic Spheres for Enhanced Photocatalytic Activity towards the Degradation of Azo Dye.* *Appl. Surf. Sci.* 2015, 357, 433–438. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.264>.
- Martínez Figueredo, K. G., Segobia, D. J., y Bertero, N. M., (2020).** *Influence of the Preparation Method on the Performance of Ni-Based Bifunctional Catalysts in the One-Pot Conversion of γ -Valerolactone to Valeric Biofuel.* *Catal. Commun.* 2020, 144, 106087. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2020.106087>.
- Mitrici, S., Rada, S., Culea, E., Pop, L., Popa, A., Bot, A., Macavei, S., Pana, O., y David, L., (2017).** *Nickel-Lead-Borate Glasses and Vitroceramics with Antiferromagnetic NiO and Nickel-Orthoborate Crystalline Phases.* *J. Non-Cryst. Solids* 2017, 471, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.06.019>.
- Nabgan, W., Nabgan, B., Tuan Abdullah, T. A., Ngadi, N., Jalil, A. A., Hassan, N. S., Izan, S. M., Luing, W. S., Abdullah, S. N., y Majeed, F. S. A., (2020).** *Conversion of Polyethylene Terephthalate Plastic Waste and Phenol Steam Reforming to Hydrogen and Valuable Liquid Fuel: Synthesis Effect of Ni–Co/ZrO₂ Nanostructured Catalysts.* *Int. J. Hydrog. Energy* 2020, 45 (11), 6302–6317. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.103>.
- Ortega-Domínguez, R. A., Vargas-Villagrán, H., Peñalozza-Orta, C., Saavedra-Rubio, K., Bokhimi, X., y Klimova, T. E., (2017).** *A Facile Method to Increase Metal Dispersion and Hydrogenation Activity of Ni/SBA-15 Catalysts.* *Fuel* 2017, 198, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.12.037>.

- Radziuk, D., y Möhwald, H., (2016).** *Ultrasonically Treated Liquid Interfaces for Progress in Cleaning and Separation Processes.* *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2016, 18 (1), 21–46. <https://doi.org/10.1039/C5CP05142H>.
- Ragupathi, C., Vijaya, J. J., y Kennedy, L. J., (2014).** *Preparation, Characterization and Catalytic Properties of Nickel Aluminate Nanoparticles: A Comparison between Conventional and Microwave Method.* *J. Saudi Chem. Soc.* 2017, 21, S231–S239. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2014.01.006>.
- Rapado, P., Faba, L., y Ordóñez, S., (2020).** *Influence of Delignification and Reaction Conditions in the Aqueous Phase Transformation of Lignocellulosic Biomass to Platform Molecules.* *Bioresour. Technol.* 2021, 321, 124500. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124500>.
- Romero Toledo, R., Sánchez, M. B., Porrás, G. R., Ramírez, R. F., Pérez Larios, A., Ramírez, A. M., y Rosales, M. M., (2017).** *Effect of Mg as Impurity on the Structure of Mesoporous γ -Al₂O₃: Efficiency as Catalytic Support in HDS of DBT.* *Int. J. Chem. React. Eng.* 2018, 16 (11). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2017-0141>.
- Srinivasa Rao, B., Yogita, Dhana Lakshmi, D., y Kumari, P. K., (2021).** *Lingaiah, N. Influence of Metal Oxide and Heteropoly Tungstate Location in Mesoporous Silica towards Catalytic Transfer Hydrogenation of Furfural to γ -Valerolactone.* *Sustain. Energy Fuels* 2021, 5 (14), 3719–3728. <https://doi.org/10.1039/D1SE00340B>.
- Wang, Y., Zhang, Y., Wang, K., Tan, L., y Chen, S., (2021).** *Preparation of Ni/SiO₂ by Ammonia Evaporation Method for Synthesis of 2-MTHF from 2-MF Hydrogenation.* *J. Fuel Chem. Technol.* 2021, 49 (1), 97–103. [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(21\)60007-5](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(21)60007-5).
- Yan, K., Yang, Y., Chai, J., y Lu, Y., (2015).** *Catalytic Reactions of Gamma-Valerolactone: A Platform to Fuels and Value-Added Chemicals.* *Appl. Catal. B Environ.* 2015, 179, 292–304. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.04.030>.
- Zakharova, M. V., Kleitz, F., y Fontaine, F.-G., (2017).** *Lewis Acidity Quantification and Catalytic Activity of Ti, Zr and Al-Supported Mesoporous Silica.* *Dalton Trans.* 2017, 46 (12), 3864–3876. <https://doi.org/10.1039/C7DT00035A>.

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE TiO₂ Y c-TiO₂ A BAJA TEMPERATURA

Aidee Jiménez Cupil, Laura Lorena Díaz Flores, Juan Carlos Díaz Guillén

RESUMEN

Se prepararon materiales de óxido de titanio (TiO₂) 63 % anatasa y 37 % brokita así oxido de titanio con carbono (c-TiO₂) con 71% anatasa y 29 % brokita a baja temperatura por síntesis hidrotérmal en un medio ácido. Los materiales fueron caracterizados por difracción de rayos X incluyendo refinamiento Rietveld para la cuantificación de las fases cristalográficas. La técnica de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución permitió confirmar la presencia de nanopartículas de TiO₂ de tamaño nanométrico. Se realizarán trabajos para la formación de películas utilizando los materiales sintetizados que permitan su aplicación en la descontaminación de agua con azul de metileno en presencia de luz visible como activador de la reacción fotocatalítica.

Introducción

Desde el descubrimiento de la efectividad fotocatalítica del dióxido de titanio (TiO₂), este compuesto ha sido objeto de muchos estudios y aplicaciones prácticas, destacándose en los procesos de desinfección del agua y purificación del aire debido a que no es tóxico y a que es de bajo costo (Mohanty, y Maji, 2020, p. 2). Es un material semiconductor aplicado en procesos de oxidación avanzada por sus propiedades fotoconductoras y fotocatalíticas que lo posicionan como uno de los óxidos de gran impacto en el área de fotocatalisis aplicada a la degradación de colorantes, degradación de contaminantes orgánicos clorados y oxidación de compuestos orgánicos volátiles (Ahmad, y Mondal, 2012; Mahanta, et al., 2022). Por estas razones en este trabajo se estableció un proceso con las condiciones necesarias para la síntesis de los nanomateriales, con los requerimientos energéticos para la activación de las reacciones de fotocatalisis. Siendo uno de los principales intereses en este trabajo debido a que determinarán la factibilidad para la implementación en futuras aplicaciones. Aunque recientemente se han documentado resultados favorables para fotocatalizadores de TiO₂ dopados con carbono por el método del sol-gel las temperaturas de síntesis reportadas son

altas (Alkorbi, et al., 2022). Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionó una técnica de síntesis de baja temperatura que involucra menor demanda energética lo que es un aspecto deseable en la producción a escala industrial (Rehan, et al., 2011). Así mismo, teniendo en cuenta la literatura disponible se espera que la incorporación de carbono en el material permita disminuir la energía de banda prohibida del TiO_2 (Alkorbi, et al., 2022) y poder aprovecharlo como un fotocatalizador en luz visible para aprovechar la energía solar disponible en la región de Tabasco en su fase de aplicación.

DESARROLLO

Como parte del avance del proyecto se obtuvieron materiales nanoestructurados TiO_2 y *c*- TiO_2 a baja temperatura caracterizados por difracción de rayos X. Se planea depositar los materiales sobre sustratos de acrílico en forma de películas y realizar pruebas fotocatalíticas para la degradación de azul de metileno en presencia de agua salada. Análisis preliminares de la energía de banda prohibida de TiO_2 indican un Band gap de 1.96 eV situándolo como un material que es capaz de ser activada por luz en el espectro de la luz solar.

MÉTODO

Síntesis de materiales TiO_2 y *c*- TiO_2 a baja temperatura.

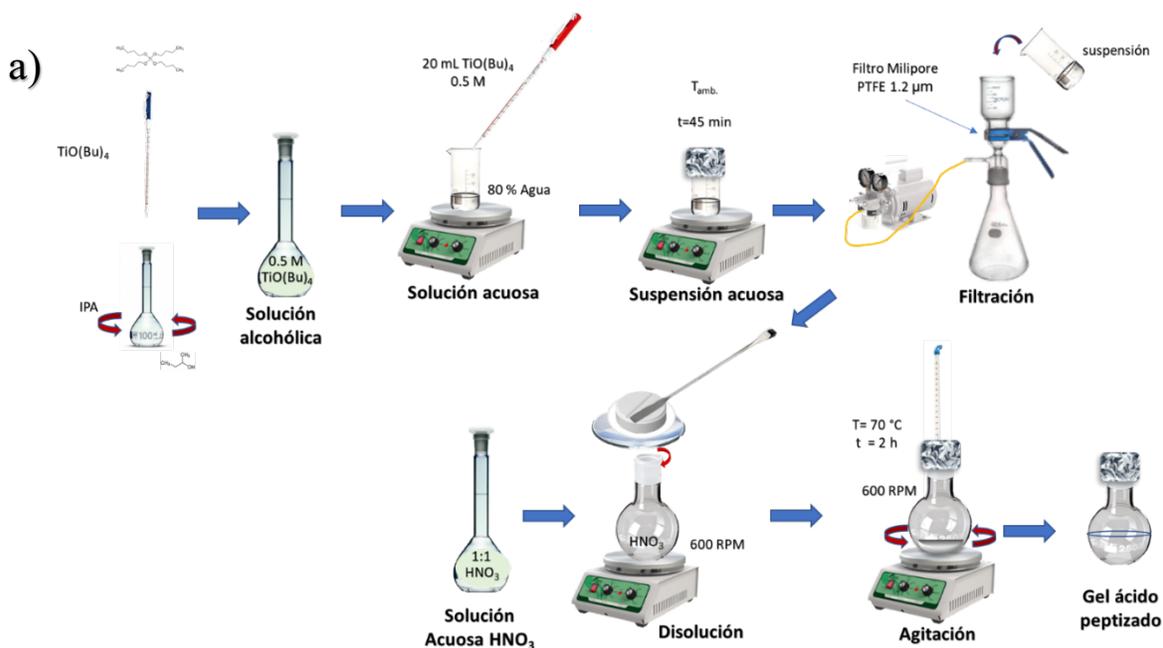
Se realizó la síntesis de materiales de TiO_2 por medio de tratamiento hidrotermal de un gel ácido. Se utilizó como precursor una solución de butóxido de titanio ($\text{Ti}(\text{O}i\text{Bu})_4$) en alcohol isopropílico (IPA) la cual fue mezclada lentamente con agua destilada en una proporción volumétrica de 1:4 con agitación continua durante 45 minutos. La suspensión resultante fue filtrada al vacío utilizando un filtro milipore para obtener un precipitado de titanio (Ti) hidrolizado.

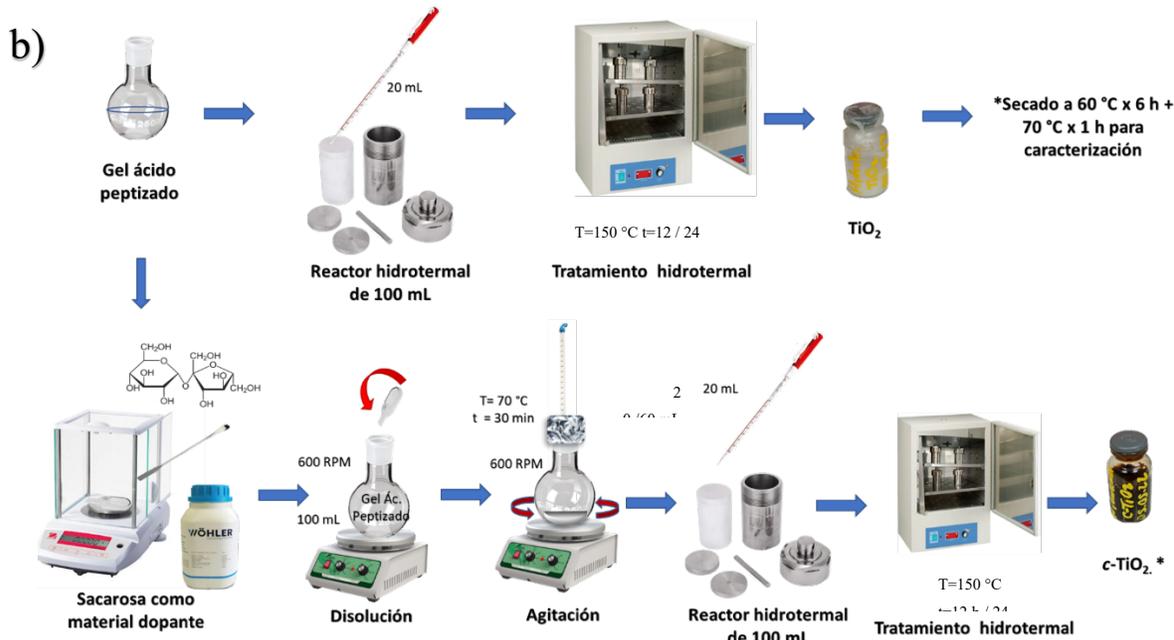
El precipitado de Ti que se recuperó en el filtrado utilizando una membrana de PTFE de 1.2 μm y se disolvió en una solución de ácido nítrico (HNO_3) calentado hasta 70 °C. Una vez alcanzada la temperatura deseada después de un periodo de una hora, se mantuvo por una hora adicional a 70 °C con agitación continua para producir el gel ácido peptizado. El gel se tornó en una solución translúcida al final de este proceso. Seguidamente, el gel ácido peptizado fue sometido a un tratamiento hidrotermal a temperatura controlada (150 °C) por 12 o 24 horas con el objeto de obtener las nanopartículas de TiO_2 .

Para producir las partículas de $c\text{-TiO}_2$ se preparó un volumen de gel ácido peptizado de una manera similar al preparado para obtener el TiO_2 . Se pesó una masa de sacarosa, para alcanzar una relación de 0.5 % peso en la mezcla, dicha masa se agregó al gel ácido peptizado mientras este se encontraba en agitación en una parrilla termomagnética. Se permitió la disolución de la sacarosa en el gel ácido peptizado durante 30 minutos a $70\text{ }^\circ\text{C}$ con 600 RPM. Al cabo de este periodo, el gel fue sometido a un tratamiento hidrotérmal a temperatura controlada ($150\text{ }^\circ\text{C}$) por 12 o 24 horas con el objeto de obtener las nanopartículas de $c\text{-TiO}_2$ ver Figura 1.

Tanto los geles de TiO_2 como los de $c\text{-TiO}_2$ fueron secados a $60\text{ }^\circ\text{C}$ por 6 horas y una hora adicional de $70\text{ }^\circ\text{C}$ para la obtención de partículas sólidas requeridas en la caracterización DRX, UV-Vis, Microscopía electrónica HR-TEM y espectroscopia IR.

Figura 1. Síntesis de materiales de TiO_2 y $c\text{-TiO}_2$. a) Preparación del gel ácido peptizado; b) tratamiento hidrotérmal e introducción del agente dopante.





RESULTADOS

Caracterización por difracción de rayos X

Se realizó el análisis de difracción de rayos X, de los materiales sintetizados por vía hidrotermal. Las muestras fueron secadas a 60 °C x 6 horas, más una hora a 70 °C para obtener sólidos en polvo. Los datos fueron procesados utilizando el Software High Score Plus en las instalaciones de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMINSA).

Tabla 1. Cuantificación de las fases cristalinas en DRX de TiO₂ y c-TiO₂ sintetizados a 150 °C por 12 y 24 h vía hidrotermal. Método Rietveld.

ID	Materia l	Volume n de síntesis mL	Tiempo de síntesis h	RPW Rietveld	Anatasa. %	Brokita %
Y2	TiO ₂	20	12	1.7796	63.2	36.8
Y11	TiO ₂	60	12	1.8438	63.9	36.1
Y10	TiO ₂	20	24	1.8003	63.1	36.9
Y13	TiO ₂	60	24	1.8115	63.3	36.7
X1	c-TiO ₂	20	12	1.8384	71.5	28.5
X13	c-TiO ₂	60	12	1.7219	71.0	29.0
X12	c-TiO ₂	20	24	1.7420	70.9	29.1
X15	c-TiO ₂	60	24	1.9521	69.2	30.8

Los patrones de difracción se compararon con las bases de datos de laboratorio de difracción de rayos X de COMINSA; para el refinamiento Rietvel se encontró coincidencias con la ficha técnica con número de referencia 01-075-2547 de la anatasa y la ficha 04-002-2754 correspondiente a la Brokita. La cuantificación de las fases presentes en cada uno de los materiales se resolvió mediante el refinamiento por el método de Rietveld, emplea la técnica de los mínimos cuadrados, con el cual se modifican los parámetros involucrados en el modelo hasta que la diferencia entre el patrón de difracción teórico y el experimental es mínima. Las muestras de TiO_2 al igual que las de $c\text{-TiO}_2$ presentan dos de las principales fases del óxido de titanio: la anatasa y la brokita. En todas las muestras se encuentra la anatasa en mayor proporción y brokita en menor medida. La presencia del carbono en la reacción (ID X1, X13 X12 y X15) conduce a la formación de una mayor proporción de la fase anatasa en detrimento de la brokita, Tabla 1. Trabajos con rutas de síntesis similares, pero con temperaturas más elevadas ($210\text{ }^\circ\text{C}$) han reportado mayor crecimiento de la fase rutilo (Rehan, et al., 2011). Por lo que se identifica una oportunidad de estudio más amplio con diferentes temperaturas para trabajos futuros.

En las figuras siguientes se presentan los difractogramas de los materiales sintetizados que muestran la presencia de los principales planos cristalinos de las fases anatasa y brokita. Comparando las muestras obtenidas con un periodo de síntesis hidrotermal de 12 horas (Figura 2) se denota que los materiales de TiO_2 (Y_i) alcanzaron mayores intensidades que las muestras de $c\text{-TiO}_2$. Por su parte las muestras de TiO_2 que se sometieron al tratamiento hidrotermal por 24 horas presentaron mayor intensidad que las de 12 horas mientras que las de $c\text{-TiO}_2$ no presentaron incremento con respecto a sus homologas de 12 horas (Figura 3).

Figura 2. Gráfica de difractogramas de muestras sintetizadas por 12 horas de reacción hidrotérmal.

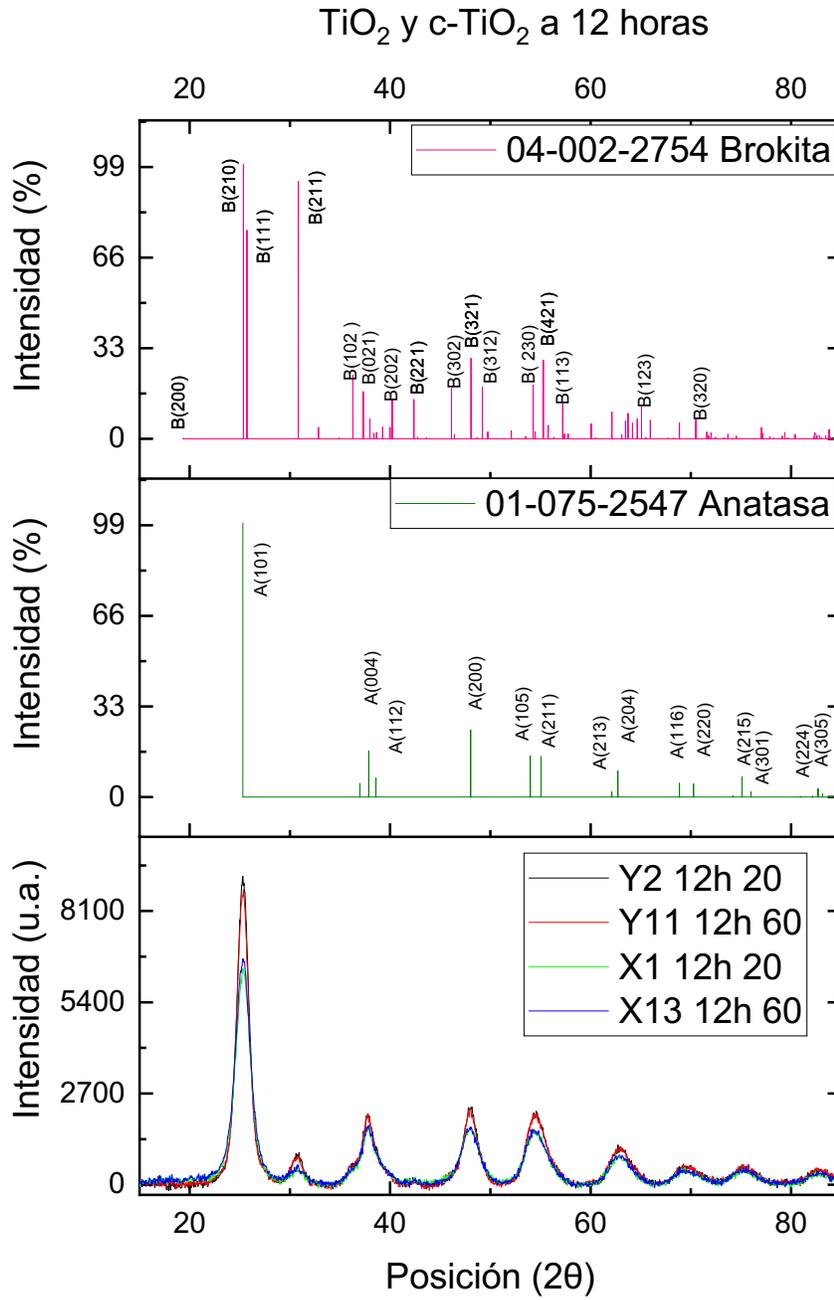
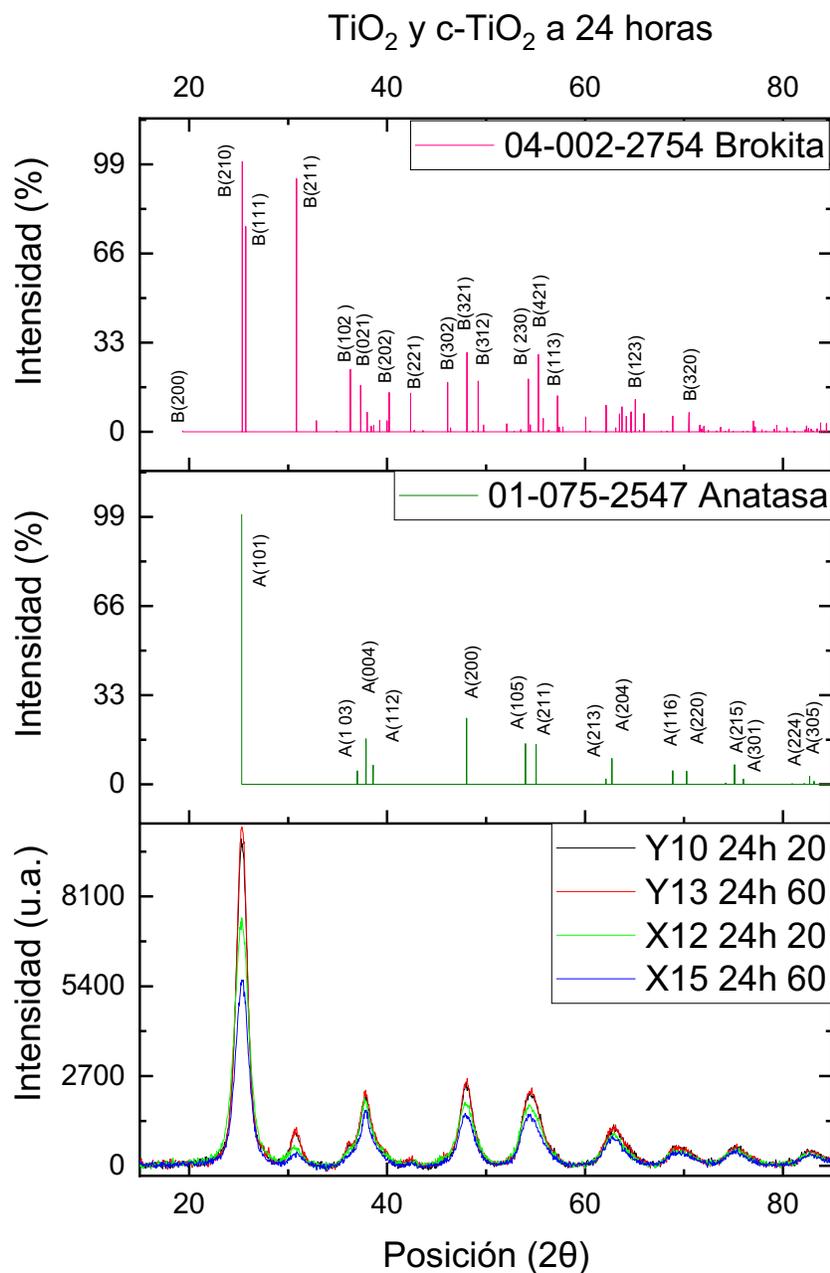


Figura 3. Gráfica de difractogramas de muestras sintetizadas por 24 horas de reacción hidrotérmal.



En cuanto a los patrones de difracción se pueden observar variaciones en el las formas de los picos, como consecuencia de esto se tiene una variación en la medida del FWHM (y la mitad del ancho del pico a la mitad de la altura máxima del mismo una vez que se ha hecho la corrección de la línea base apropiada β) e inversamente proporcional al tamaño medio del

cristal Aplicando la ecuación de Sherrer (1) se calculó el tamaño medio del cristal de TiO₂ y *c*-TiO₂ denominado L en la Tabla 2.

Tabla 2. Tamaño medio del cristal

ID	Volumen de síntesis mL	Tiempo de síntesis (h)	Pos. (2θ)	Altura (u.a.)	FWHM (2θ)	d- spacing (Å)	L (nm)
X1	20	12	25.2977	4209.05	1.7509	3.51775	4.59
X12	20	24	25.2781	4934.7	1.6905	3.52044	4.76
X13	60	12	25.3939	2593.74	1.7014	3.50463	4.73
X15	60	24	25.3208	3770.99	1.5697	3.51458	5.13
Y2	20	12	25.6233	3100.96	0.9241	3.47378	8.71
Y10	20	24	25.2241	4600.21	1.2735	3.52784	6.32
Y11	60	12	25.0696	3243.98	1.3143	3.54923	6.12
Y13	60	24	25.1436	4209.32	1.2285	3.53895	6.55

$$L = \frac{0.89\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Donde:

λ es la longitud de onda de la radiación (Å) igual 1.5406,

θ es el ángulo de difracción de Bragg

β es el ancho total en la mitad de los máximos de los picos de difracción (FWHM/2)

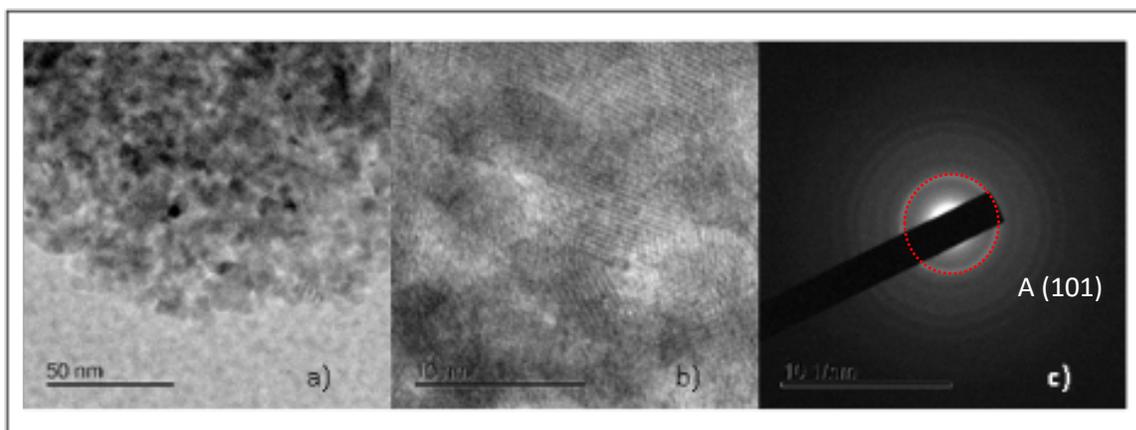
Se tienen nano partículas de talla muy pequeña teniendo en consideración trabajos de síntesis de TiO₂ por la técnica de Sol-gel que emplean temperaturas más elevadas en el proceso de síntesis (Singh, y Dutta, 2018) e incluso menores que lo reportado en síntesis hidrotérmal con temperaturas más altas y periodos cortos de síntesis. (Rehan, et al., 2011). Por otra parte, las muestras con carbono (Xi) presentan menor tamaño medio de cristal L con respecto a las muestras sin carbono (Yi). Esto coincide con lo reportado en la literatura para muestras de TiO₂ con carbono en relación con muestras de TiO₂ sin carbono (Alkorbi, et al., 2022).

Análisis por Microscopía Electrónica HR-TEM de la morfología del TiO₂ sintetizado

En el primer experimento realizado utilizando temperatura de síntesis de 150 °C, se encontró presencia de nanopartículas de TiO₂ en los polvos obtenidos secando la solución hidrotermal, observada por microscopía electrónica HR-TEM (Figura 4). Las muestras fueron obtenidas mediante el secado del gel hidrotermal en una caja de petri a 60 °C.

Las partículas observadas son de tamaño nanométrico como es el caso de otras síntesis de óxido de titanio en medio ácido por vía hidrotermal, aunque la temperatura utilizada fue menor durante la síntesis con respecto a trabajos semejantes. (Ahmad, y Mondal, 2012; Rehan, et al., 2011)

Figura 4. Micrografías de las nanopartículas de TiO₂.



Nota: Micrografías de las nanopartículas de TiO₂. a) morfología de las nanopartículas de TiO₂, b) Alta resolución de una nanopartícula de TiO₂, c) Patrón de difracción de electrones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La técnica hidrotermal es efectiva para la obtención de materiales policristalinos de tamaño nanométrico constituidos por una mezcla de fase predominantemente anatasa y con brokita en menor proporción.

La presencia de carbono en la reacción de síntesis incrementa la formación de la fase anatasa sobre la brokita en la reacción hidrotermal a 150 °C.

El tamaño medio del cristal obtenido en los materiales de TiO₂ es mayor en relación con los materiales de c-TiO₂.

Propuestas

Se propone para la siguiente fase del proyecto la evaluación UV-Vis de todos los materiales obtenidos, así como de las películas que resultarán de cada uno de los materiales para la estimación de la energía de banda prohibida. Con base en los resultados realizar las pruebas de degradación fotocatalítica de azul de metileno en presencia de luz visible.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Ing. Saul García López Técnico académico encargado de la operación del HRTEM del Laboratorio de Microscopía Electrónica Avanzada de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por su colaboración en la caracterización de los materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, R., y Mondal, P. K., (2012).** *Adsorption and Photodegradation of Methylene Blue by Using PANi/TiO₂ Nanocomposite. Journal of Dispersion Science and Technology, 33(3), 380-386. <https://doi.org/10.1080/01932691.2011.567172>*
- Alkorbi, A. S., Muhammad Asif Javed, H., Hussain, S., Latif, S., Mahr, M. S., Mustafa, M. S., Alsaiari, R., y Alhemiary, N. A., (2022).** *Solar light-driven photocatalytic degradation of methyl blue by carbon-doped TiO₂ nanoparticles. Optical Materials, 127, 112259. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112259>*
- Mahanta, U., Khandelwal, M., y Deshpande, A. S., (2022).** *TiO₂@SiO₂ nanoparticles for methylene blue removal and photocatalytic degradation under natural sunlight and low-power UV light. Applied Surface Science, 576, 151745. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151745>*
- Mohanty, S., y Maji, S. K., (2020).** *Adsorption/photodegradation of methylene blue from synthetic wastewater on titanate nanotubes surfaces. Water Science and Technology, 82(11), 2562-2575. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.535>*
- Rehan, M., Lal, X., y M. Kal, Girish., (2011).** *Hydrothermal synthesis of titanium dioxide nanoparticles studied employing in situ energy dispersive X-ray diffraction. CrystEngComm, 13, 3725-2732. rehan2011. <https://doi.org/10.1039/c0ce00781a>*

Singh, R., y Dutta, S., (2018). *Synthesis and characterization of solar photoactive TiO₂ nanoparticles with enhanced structural and optical properties. Advanced Powder Technology, 29, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2017.11.005/>*

ESTUDIO DE CATALIZADORES BIMETÁLICOS NI-AU, SOPORTADOS EN Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ PREPARADOS POR RECARGA Y MODIFICADOS CON W Y P EN REACCIONES PARA OBTENER BIOCOMBUSTIBLES

Mohamad Ali Piza Zapata, José Gilberto Torres Torres,
Adib Abiu Silahua Pavón

RESUMEN

En este proyecto de investigación se sintetizaron catalizadores monometálicos con el 15% Níquel soportados Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ y modificados con W y P, para la producción de molécula de plataforma 5-Hidroximetilfurfural (HMF) a través de la transesterificación a partir de D-glucosa obteniendo rendimientos del 98.52% de (HMF) utilizando como disolvente Tetrahidrofurano (THF) a 175°C y 30 Bar de presión Argón a 1000 rpm. Los catalizadores se caracterizaron mediante diversas técnicas que incluyen XRD, Fisisorción de N₂, Espectroscopia Uv-Vis, Microscopia Electrónica de barrido y análisis EDS, (FTIR), (TGA) y (DSC). La conversión de glucosa a HMF se ve afectada por la presencia de sitios ácidos y metálicos presente en la superficie del catalizador.

Palabras Clave: 5-HMF, Catalizador Heterogéneo, Hidrogenación.

Introducción

Actualmente, entre los principales problemas que enfrenta la humanidad, destacan el deterioro ambiental y la crisis energética, en contraste una de las principales causas de la contaminación del aire es la quema de combustibles fósiles, ya que la combustión de los mismos produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono,

óxidos de nitrógeno), óxidos de azufre, hidrocarburos no quemados y cenizas finas (Medina Ramírez, et al., 2012). Además, este recurso natural es una fuente energética no renovable y, a últimas fechas, se ha informado que las reservas mundiales tarde o temprano se agotarán. Se estima que el petróleo se acabará en 41 años, el gas natural en 63 años y el carbón en 218 años (Agarwal, 2007). Por estas razones, hay interés en el desarrollo de fuentes de combustible alternativas y más limpias. En cuanto a las fuentes de materias primas, la biomasa renovable es la más adecuada para la producción de energías alternativas, ya que son abundantes, fáciles de obtener y ricas en carbohidratos que pueden convertirse en valiosos productos químicos (Jiao, et al., 2016). La celulosa, como una rama importante de la biomasa, se compone de los componentes básicos de la unidad de la glucosa que puede transformarse en la útil molécula plataforma 5-HMF. El 5-HMF puede actuar como materia prima que se utilizará para sintetizar productos químicos, combustibles líquidos, etcétera (Li, et al., 2009). Por tanto, es de suma importancia desarrollar un enfoque para sintetizar eficazmente 5-HMF a partir de recursos de glucosa ricos y baratos en condiciones suaves. Evidentemente es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción que produce biodiesel. Estos catalizadores pueden ser ácidos o básicos, (homogéneos o heterogéneos) (Shimada, y Cestari, 2020). Las principales ventajas de estos catalizadores son: simplificación del proceso de purificación del biodiesel, reutilización del catalizador y la posibilidad de llevar a cabo simultáneamente las reacciones de transesterificación y esterificación. Existen reportes que remarcan la eficiencia de la catálisis heterogénea en comparación con la homogénea para la producción de biodiesel, ya que la segunda presenta dificultades en la recuperación del catalizador, además de que los catalizadores suelen ser difíciles de sintetizar y su estabilidad puede ser limitada (Cabello, et al., 2016). En este proyecto se propone como alternativa el uso de catalizadores Ni-Au soportados en Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂, con la finalidad de encontrar catalizadores eficaces, alternativos en la obtención de biocombustibles menos contaminantes.

MÉTODO

Preparación de los soportes Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ por el método sol-gel

En este Proyecto se sintetizaron catalizadores por el método Sol-Gel, el porcentaje en peso %m/m para la Al₂O₃, TiO₂ y ZrO₂ es de 40%,40%,20 % respectivamente. Se preparan

5 gramos de soporte, como precursores metálicos se usará Trisecbutóxido de aluminio $C_{12}H_{27}AlO_3$ (97% Aldrich), Butóxido de titanio (IV) $Ti [O(CH_2)_3CH_3]_4$ (97% Aldrich), Butóxido de Zirconio $Zr[OCH_2CH_2CH_2CH_3]_4$ (80% Aldrich), la síntesis se llevó a cabo en un vaso precipitado con los alcóxidos metálicos con una mezcla de n-butanol (99.9 %, Baker) y sec-butanol, manteniendo una agitación constante. Finalmente se dejará a un goteo lento de agua destilada. Se utilizaron las siguientes relaciones con el fin de obtener materiales porosos: alcóxido/butanol=1/8 en volumen y alcóxido/agua=1/16 en volumen. Terminada la adición, se dejaron con agitación durante 24 horas para obtener el gel. Posteriormente se obtendrá un gel que se someterá a un proceso de secado en una estufa a 120 °C durante 48 horas. Estos materiales serán sometidos a un proceso térmico de calcinación de 550 a 850 °C durante 12 horas a 2°C/min.

Modificación de los soportes con W por el método de impregnación húmeda

La impregnación de los soportes con W se llevó a cabo por el método de vía húmeda de Tungsteno al 2, 3 y 5 % en 5g de soporte, se realizó a partir de una disolución de 100ml de agua bidestilada con la sal precursora de Metatugstanato de Amonio (Sigma-Aldrich) posteriormente se adicionó en un matraz balón en donde se agregaron 5g de soporte, se mantuvo en agitación en el equipo de rotavapor por 4 horas. Se separó a vacío por rotavapor a una temperatura de 60 °C, se dejó en la estufa 12 horas a 120 °C. Finalmente se sometió a un proceso de calcinación a 2°C/min en flujo de O_2 a 400 °C, posteriormente se llevó a cabo la reducción en flujo de H_2 a 400 °C por 4 horas.

Modificación de los soportes con W por el método de impregnación húmeda

La impregnación de los soportes con P se llevó a cabo por el método de vía húmeda de Fosforo al 15% en 5g de soporte, se realizó a partir de una disolución de 100ml de agua bidestilada con el precursor ácido fosfórico (Sigma-Aldrich) posteriormente se adicionó en un matraz balón en donde se agregaron 5g de soporte, se mantuvo en agitación en el equipo de rotavapor por 4 horas. Se separó a vacío por rotavapor a una temperatura de 60 °C, se dejó en la estufa 12 horas a 120 °C. Finalmente se sometió a un proceso de calcinación a 2°C/min en flujo de O_2 a 400 °C, posteriormente se llevó a cabo la reducción en flujo de H_2 a 400 °C por 4 horas.

Preparación de los catalizadores monometálico Ni soportados en $Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2$ y $Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2$ modificado con W y P por el método de recarga.

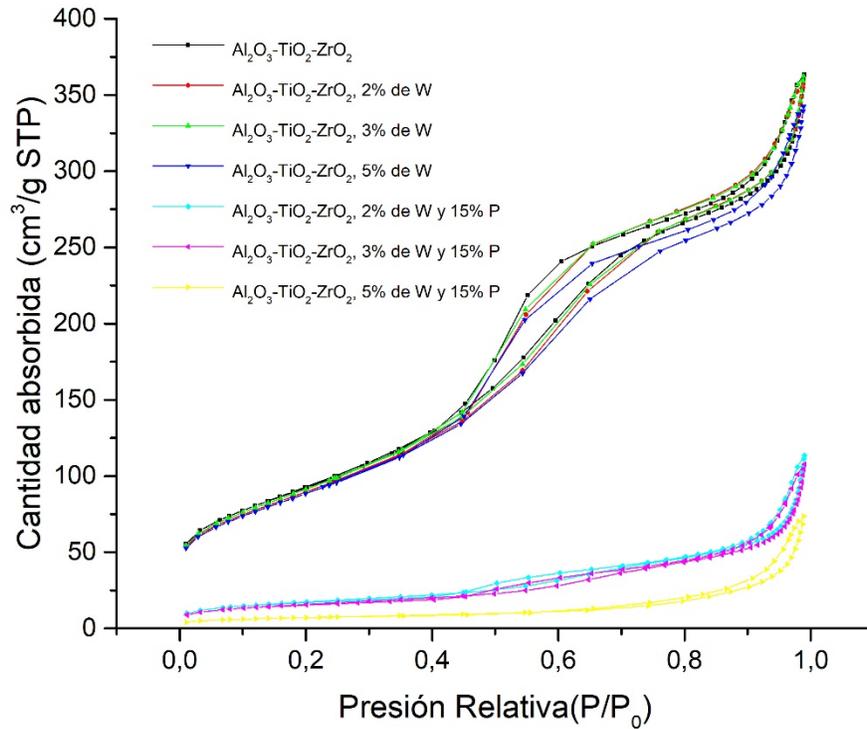
En 2 gramos de soporte se purgó en reactor de cuarzo con nitrógeno durante 10 min a temperatura ambiente, luego se redujo con flujo de H₂ durante 3 hora a una temperatura de 300 °C, después de la reducción se dejó enfriar la muestra con hidrogeno hasta alcanzar la temperatura ambiente, se continuo a purgar el reactor con N₂ por 30 min. Se adicionaron la solución Cloruro de Níquel (Sigma- Aldrich) en 20 ml de agua destilada, posteriormente se purgo con N₂ por 10 min, Se introdujo una solución de níquel al 15% en el área de desgasificación y se le hizo burbujear N₂ cuidadosamente para eliminar las trazas de oxígeno, se adicionó la solución de níquel al reactor donde se encontraba el soporte ATZ y se burbujeo N₂ por una hora para que la reacción se llevara a cabo. El catalizador monometálicos preparado se secó con H₂ a temperatura ambiente por 12 horas para secarlo. Se activó a través de una reducción con H₂ a una temperatura de 400°C y una rampa de calentamiento de 2°C/min durante 4 horas.

RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de la técnica de fisisorción de N₂, la cual proporciona las propiedades texturales (área específica, diámetro de poro y volumen de poro) del soporte catalíticos (Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂) al 40, 40, 20 % en peso respectivamente denominados ATZ así como también este mismo sistema ternario pero impregnado con 2, 3 y 5 % en peso de tungsteno (ATZ-W), y de igual manera este sistema ternario impregnado con tungsteno adicionando 15% en peso de fosforo (ATZ-W/P) preparado por la misma metodología de impregnación para este proyecto .

Para el material ATZ se observa que es isothermas del tipo IV con lazo de histéresis tipo 2, esto representa una geometría de poro de botella (Cabello, et al., 2016), cuando se incorpora el tungsteno hay una modificación de los poros interconectados si tomamos como referencia al ATZ, pero siguen mostrando el comportamiento de isothermas de tipo IV que son característicos de materiales mesoporosos donde el tipo de poro va de los 2 nm a 50 nm (Thommes, et al., 2015).

Figura 1. Isothermas de absorción - desorción de los soportes



Al incorporar el fosforo, **Figura 1** se observa que se sigue manteniendo el isoterma del tipo IV con laso de histéresis H₂, sin embargo, la cantidad de absorción de N₂ disminuye notablemente ya que se puede observar en este caso que para los materiales ATZ Y ATZ-W comienza en 50 cm³g⁻¹ hasta una adsorción máxima en 350 cm³g⁻¹, mientras que para los materiales ATZ-W/P comienza aproximadamente en los 15 cm³g⁻¹ con una adsorción máxima alrededor de los 100 cm³g⁻¹. Nuestra hipótesis es que al ser sintetizado por ácido fosfórico promueve un efecto de ácido fuerte lo cual interactúa dentro de la matriz disociando la superficie, disminuyendo el área superficial, incrementando el diámetro de poro y disminuyendo el volumen de poro tal como lo muestran los resultados en la **Tabla 3** de propiedades texturales.

Tabla 1. Propiedades estructurales y superficiales de los soportes sol-gel.

Soporte	Área BET (m²/g)	Diámetro de poro (nm)	Volumen de poro (cm³/g)
ATZ	337.34	4.6	0.53

Tabla 2. Propiedades estructurales y superficiales de los soportes impregnados con W

Soporte	Área BET (m²/g)	Diámetro de poro (nm)	Volumen de poro (cm³/g)
ATZ- 2%W a 450°C	325.4	4.8	0.54
ATZ- 3%W a 450°C	331.9	4.8	0.53
ATZ- 5%W a 450°C	321.6	4.6	0.49

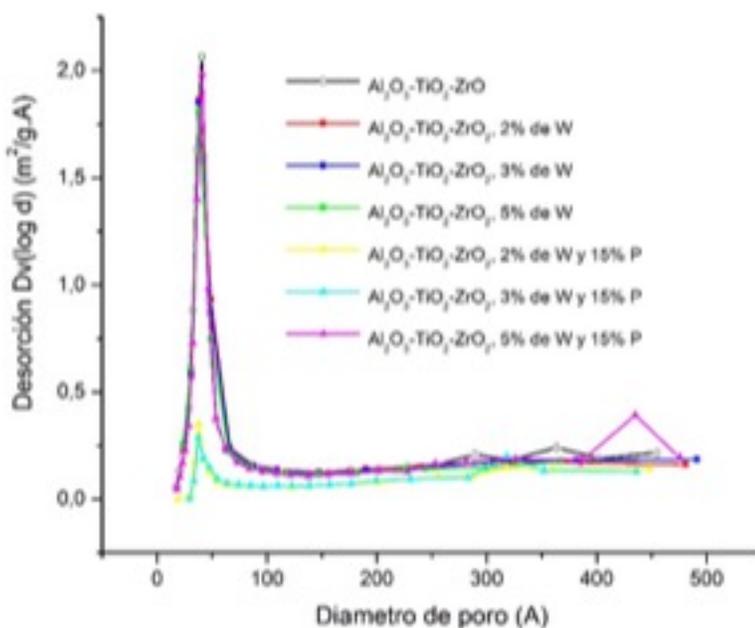
Tabla 3. Propiedades estructurales y superficiales de los soportes impregnados con W y P

Soporte	Área BET (m²/g)	Diámetro de poro (nm)	Volumen de poro (cm³/g)
ATZ2%W+P a 450°C	63.2	7.7	0.13
ATZ3%W+P a 450°C	57.7	8.1	0.12
ATZ5%W+P a 450°C	25.8	13.2	0.07

Las propiedades de las muestras texturales se muestran en las **Tablas 1 al 3**. El área superficial específica de los óxidos se obtuvo aplicando la ecuación de BET (Brunauer, Emmet and Teller). Se observa que para los soportes catalíticos ATZ-W en contraste con el soporte de referencia ATZ el área superficial disminuyó de manera no significativa en

promedio un $11.04 \text{ m}^2/\text{g}$, de igual forma en su diámetro y volumen de poro no hay cambios notables, lo cual muestra una alta estabilidad térmica ya que podría decirse que no hubo pérdida de área específica, sin embargo en los soportes catalíticos ATZ-W/P existe una disminución de área específica muy evidente en relación al soporte de referencia ATZ en la cual se tiene una disminución aproximadamente de 7 veces el área superficial, mientras que para el diámetro promedio de poro se tiene un incremento de 5 nm y en el volumen promedio de poro se observa una disminución del 80% en promedio, esto puede deberse a la incorporación del fosforo en la matriz del ATZ-W produciendo un efecto ácido (Hernández Enríquez, et al., 2013) que disocie el área superficial.

Figura 2. Distribuciones de poros de los soportes calcinados a $450 \text{ }^\circ\text{C}$

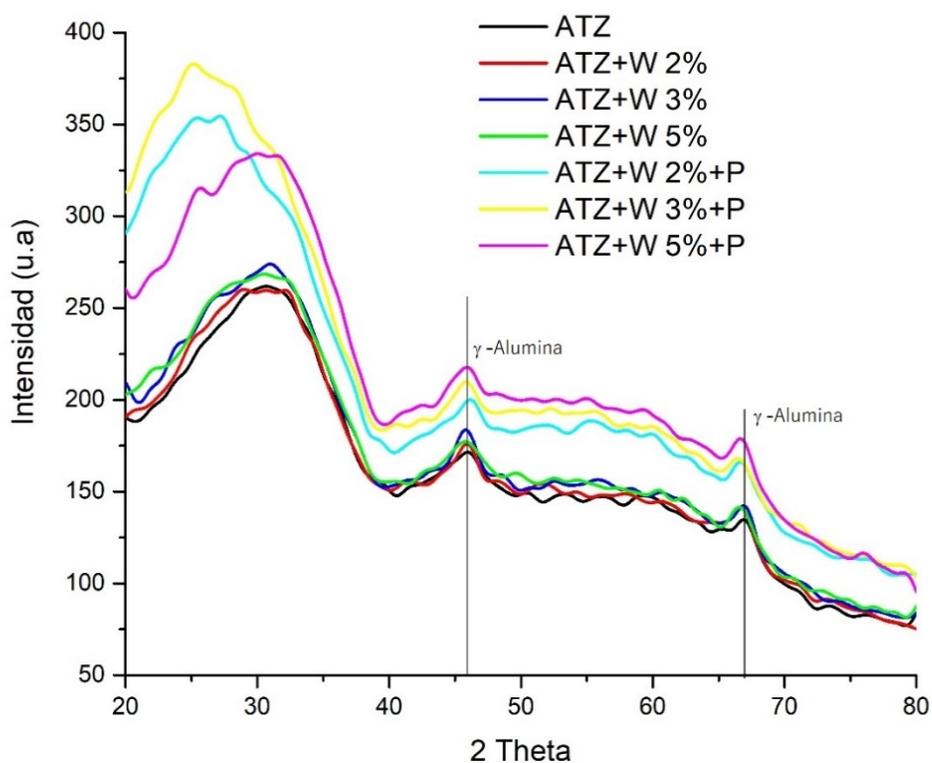


En la **Figura 2** se muestra la distribución de poros del soporte y catalizadores, se observa un comportamiento unimodal para casi todos los catalizadores, con excepción del catalizador con 5 % de W y 15 % de P. ya que presenta un comportamiento bimodal, esto quiere decir que existen dos picos que representan el promedio de los poros que se encuentran en 48 Å y 440 Å.

Difracción de rayos x

En la **Figura 3**, se observa el difractograma de los soportes catalíticos $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ modificados con tungsteno y fosforo, donde se muestra una señal ensanchada en la región $2\theta = 21^\circ$ a 38° . De acuerdo con la literatura, señala que es de naturaleza amorfa o de muy baja cristalinidad, es decir que no es un material cristalino en su totalidad. Asimismo, se aprecian señales débiles en los ángulos $2\theta = 46^\circ$ y 68° , representativos de la fase λ -Alúmina (Yang, et al., 2013). Además, para los soportes catalíticos modificados con tungsteno y fosforo, se puede observar una señal débil en 25° , esto es debido a la incorporación de fosforo en la matriz del soporte, lo que evidencia la formación de WO , indicando una fuerte interacción entre el $(\text{PW}_{12}\text{O}_{40})^{3-}$ y ZrO_2 probablemente a través de enlaces W-O-Zr de acuerdo con Hernández Enríquez, et al., (2013), lo que propicia que se corran los picos hacia el lado izquierdo.

Figura 3. Difractograma de los soportes sintetizados



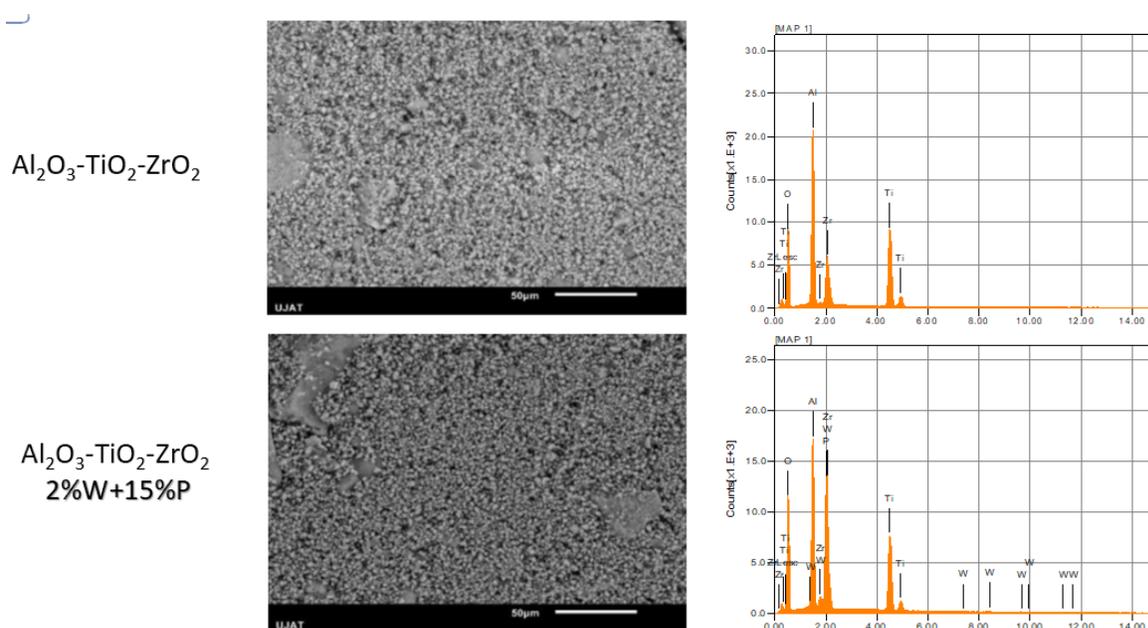
En los resultados de Uv-Vis, **Figura 4** se muestran los espectros correspondientes a los materiales sintetizados ATZ como referencia y ATZ-W y ATZ-W/ P, se quiso observar la modificación de las bandas de las mezclas de los soportes ternarios al agregar tungsteno y fosforo, en los soportes ATZ-W se puede observar que no hay un desplazamiento significativo con respecto al soporte ATZ , sin embargo tanto en los materiales ATZ-W/P que donde hay más variación en la absorbancia como en los modificados con tungsteno se muestra una banda en 260 nm, la cual es característica de $(PW_{12}O_{40})^{-3}$ un heteropolianion (Sun, et al., 2010), esto evidencia que estos soportes presentan una elevada acidez lo que promueve la generación de sitios ácidos fuertes.

Microscopia Electrónica de Barrido

En el mapeo elemental MEB y análisis EDS, se realizó una magnificación de 50 micrómetros de los catalizadores, en general se observa dispersión en los materiales sintetizados.

En cuanto a los óxidos mixtos ($Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2$) a diferentes composiciones de Tungsteno y Fosforo impregnado, se aprecia una mínima variación en la morfología de las partículas conforme se varía en contenido de W en los catalizadores mencionados. En la figura se muestra el soporte catalítico $Al_2O_3-TiO_2-ZrO_2$ se aprecian partículas más brillantes y definidas, mientras que en la figura tal que corresponden a los catalizadores modificados con tungsteno a medida que se incrementa este porcentaje en peso se vuelven más opacas, sin embargo, también se observa aglomeraciones de partículas semiesféricas de tamaño micrométrico en todos los casos **Figura 5**.

Figura 5. Mapeo elemental por MEB y análisis EDS



En la **Tabla 4** se muestran los datos obtenidos en el análisis elemental, teniendo en cuenta que es un análisis semi-cuantitativo ya que solo se aplica al campo observa, no obstante, nos proporciona una cantidad aproximada de las proporciones elementales. Los datos nos muestran que los contenidos de tungsteno y fosforo en los diferentes materiales presentan una pequeña variación con respecto al teórico.

Tabla 4. Datos del análisis elemental, calculado por MEB-EDS

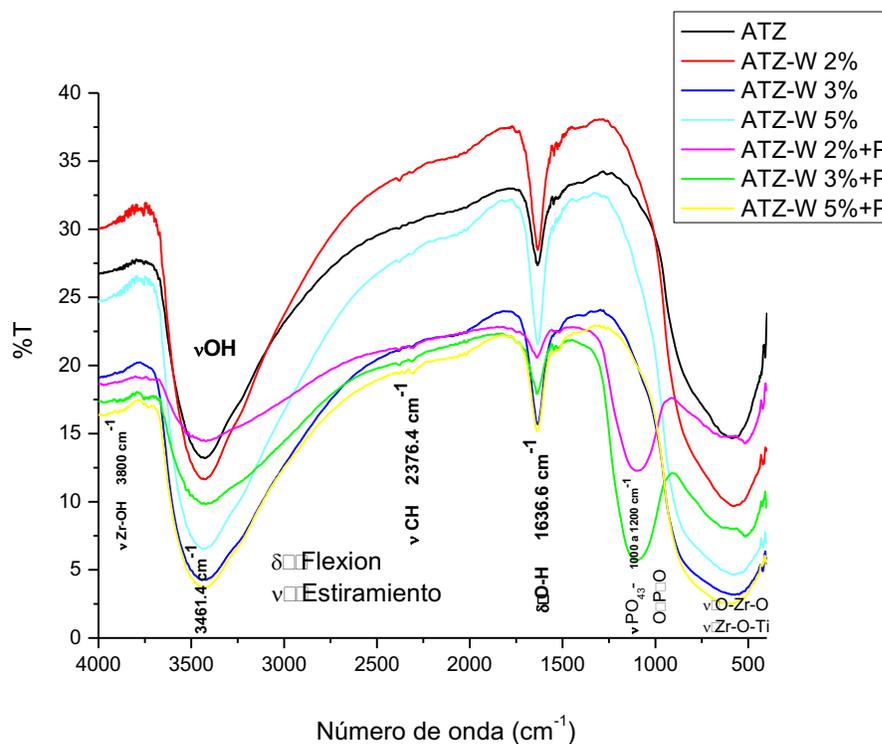
Catalizador	Al (% en peso)	Ti (% en peso)	Zr (% en peso)	W (% en peso)	P (% en peso)	O (% en peso)
ATZ	19.17	21.61	15.56			43.66
ATZ-2%W-P	12.87	16.56	16.23	1.77	9.85	42.73
ATZ-3%W-P	12.74	14.76	15.98	1.84	9.70	44.96
ATZ-5%W-P	11.80	13.55	7.51	3.01	15.70	48.44

Espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR)

En este apartado se muestran los resultados de la espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) la cual muestra los espectros de reflexión de las bandas de

los grupos funcionales de las sustancias inorgánicas y orgánicas analizadas, lo cual permite realizar una identificación de los materiales correspondientes al soporte y a los modificados con tungsteno y fosforo. En los espectros obtenidos, se observa que los análisis de infrarrojo realizadas en la región de 450 cm a 4000 cm confirman la presencia de diferentes grupos funcionales **Figura 6**.

Figura 6. Espectros infrarrojos del soporte y catalizadores modificados



Existe una gran cantidad de grupos hidroxilo que pueden ser observados en la región a partir de los 3350 asignado a la frecuencia de alargamiento de los enlaces hidroxilo O-H de diferentes especies presentes en los sólidos. Los grupos hidroxilo -OH se deben principalmente a la presencia de agua fisisorbida, agua estructural, alcoholes. Puede ser observada una banda ancha e intensa centrada a 1662 cm correspondiente a la materia orgánica retenida en el sólido a bajas temperaturas de calcinación encontrado alrededor de los 1340 y 2895 cm flexiones y estiramientos pertenecientes a enlaces C-H, generalmente atribuidos a los disolventes ocluidos en el sólido.

Se observan en la **Figura 6** pequeños hombros encontrados alrededor de los 1400 y 2300 son características de estiramiento C-O-C y C-O que identifican la posible formación de un éter durante la síntesis del catalizador.

También se puede observar que las bandas situadas a 516 y 641, atribuyen al zirconio hidroxilo [$Zr_x(OH)_y$] se intensifican y cambian ligeramente después de los 400 °C, originando señales que se localizan alrededor de los 500,580 y 754 cm, que caracterizan al óxido de zirconio cristalino (Hernández Enríquez, García Serrano, García Alamilla, Cortez Lajas, 2009).

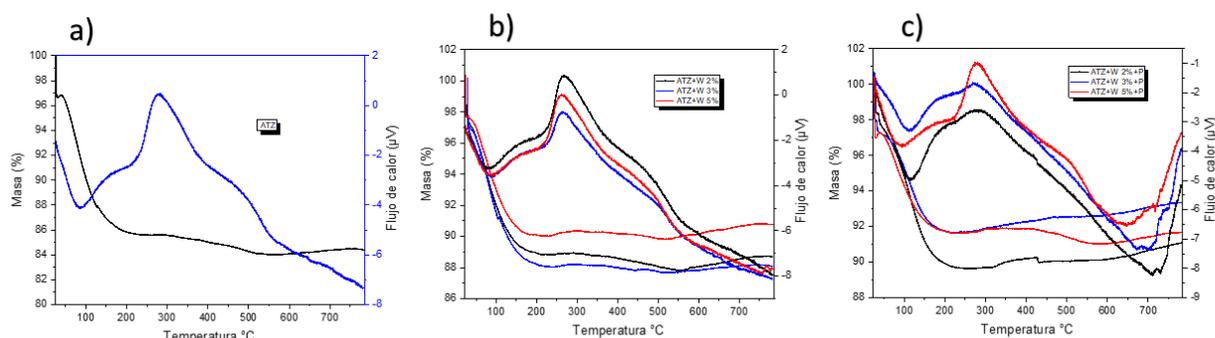
En cuanto al análisis de las bandas correspondientes al catalizador impregnado con el 15% en peso de fósforo con lo cual se corrobora la presencia de fosfatos en el material ubicándose en el rango de los 1000 a 1200 cm esta banda cambia o varía su posición en este rango y este efecto podría deberse a los enlaces cónicos entre las especies del metal y el fosfato.

Termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC)

A continuación, se muestran los resultados del análisis termo gravimétrico y calorimetría diferencial de barrido. En la **Figura 7a**), se observa que la pérdida de peso oscila en un intervalo del 10-13 % y proviene de reacciones químicas y transformaciones en los materiales. Esta pérdida de peso inicia alrededor de la temperatura de 50°C y se atribuye principalmente al agua adsorbida en la superficie de los óxidos mixtos.

La mayor pérdida de peso se da en el intervalo de 150 a 500 °C, y está relacionada directamente con la descomposición del soporte. Se observa por TGA que la descomposición completa del soporte se da alrededor de los 260°C, sin embargo la pérdida de peso del material continúa hasta los 470 °C, lo cual indica que una temperatura de 500°C es suficiente para remover el componente orgánico.

Figura 7. Análisis térmico de los soportes catalíticos



La **Figura 7a)**, también corresponde al análisis por gravimetría diferencial de barrido (DSC) muestra un pico endotérmico cuyo máximo es alrededor de los 100°C debido principalmente a la evaporación de agua que se encuentra adsorbida físicamente y a los solventes orgánicos que se encuentran atrapados en los poros de material. Así mismo se observa que en el intervalo de los 260 a 350 °C se da la pérdida de agua ligada químicamente a los grupos hidroxilo. Alrededor de 300 °C se exhibe un pico exotérmico, el cual puede atribuirse a la combustión del agente activo así como la combustión de los grupos alcóxidos que permanecen ligados a las estructuras después del proceso de hidrólisis y condensación incompletos (Qiu, et al., 2013).

En la **Figura 7b)**, se observa los análisis correspondientes a los catalizadores con 2, 3 y 5 % en peso de tungsteno impregnado básicamente es igual o muy similar en rangos e intervalos obtenidos para el soporte, sin embargo, cabe mencionar que la variante que se presenta es para el catalizador con el 5% de tungsteno el cual tiene una pérdida de peso quizá menor al 10% inicia alrededor de los 50°C y estabiliza en 200°C.

La **Figura 7c)**, corresponde a los soportes modificados con tungsteno y fosforo, se analiza la pérdida de peso que oscila en un intervalo de 8 -10% está pérdida inicia alrededor de 50°C y estabiliza en 200°C.

Desorción a temperatura programada de dióxido de carbono (TPD-CO₂)

A partir del análisis de la técnica de desorción a temperatura programada CO₂ , los materiales mostraron una distribución de sitios básicos de distinta fuerza; dichas fuerzas se

clasificaron muy débiles asociadas a interacciones entre grupos hidroxilo (80-250°C), sitios asociados a especies de metal-oxígeno, para débiles (250-380°C) y medias de (380-450°C) y sitios fuertes asociados a iones de baja coordinación (450-500). Esta es la clasificación de acuerdo a la utilizada por azzou y colaboradores (Azzouz, et al., 2006).

Tabla 5. Distribución de fuerza y densidad de sitios básicos

Muestra	Distribución de fuerza de sitios básicos (Área %)				Capacidad de adsorción ($\mu\text{molCO}_2 \text{ g}^{-1}$)	Densidad de sitios básicos ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}$)
	Muy Débil (80-250)	Débil (250-380)	Medio (380-450)	Fuerte (450-550)		
ATZ	48	38	6	8	411	1.22
ATZW2%	56	24	8	12	309	0.95
ATZW3%	56	31		13	371	1.12
ATZW5%	58	20	8	14	267	0.83
ATZW2%+P	60	19		21	206	3.26
ATZW3%+P	63	21		16	171	2.97
ATZW5%+P	24	48		28	220	0.72

En la **Tabla 5** se muestran la distribución de los sitios básicos de los óxidos mixtos se puede observar el efecto que tiene la incorporación del tungsteno, se analiza con una porción del 3% en peso, la densidad de sitios básicos es muy similar a la del óxido mixto es decir se conservó la densidad de arriba de $1 \mu\text{molg}^{-1}$ es posible apreciar en los catalizadores que contienen fósforo aumento la densidad de sitios básicos $3.26 \mu\text{molg}^{-1}$.

Evaluación catalítica de soporte catalítico y modificado con tungsteno y fósforo para la conversión de 5-Hidroximetilfurfural a partir de glucosa.

El catalizador ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2$), así como los modificados con tungsteno y fósforo fueron empleados en la conversión de monosacáridos utilizando glucosa como molécula modelo en la producción 5-HMF en un sistema básico THF/ H_2O por 2 horas. Los rendimientos obtenidos en la conversión de glucosa a 5-HMF, se muestran a continuación, **Tabla 6.**

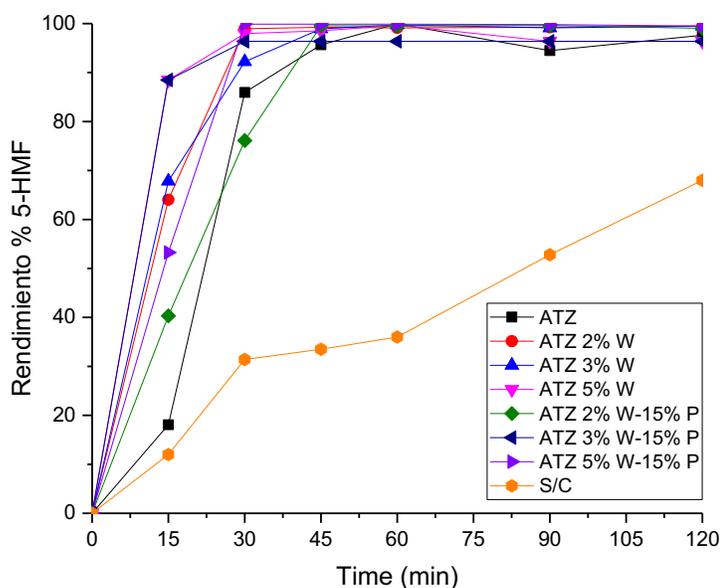
Tabla 6. Rendimiento de la transformación de glucosa a 5-HMF

Tabla de rendimiento.		Rendimiento de 5-HMF (%) vs tiempo (min)						
Tiempo (min)	S/C	Catalizadores						
		ATZ	ATZ 2% W	ATZ 3% W	ATZ 5% W	ATZ 2% W-15% P	ATZ 3% W-15% P	ATZ 5% W-15% P
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	12	18.07	64.04	67.82	88.48	40.32	88.48	53.26
30	31.4	85.93	98.95	92.22	97.97	76.11	96.37	99.90
45	33.5	95.66	99.23	98.92	98.52	99.54	96.48	99.88
60	36	99.94	99.12	99.75	99.66	99.53	96.56	99.87
90	52.8	94.47	99.25	99.13	96.37	99.61	96.40	99.79
120	68	97.61	99.48	99.50	96.37	99.04	96.37	99.48

Parámetros: 30ml THF/H₂O (75:25), 2.5 mmol of glucosa, 0.25g de catalizador, 1.2g NaCl, 30 bar, 175 °C, 1000 rpm, 120 min.

Se observa que la reacción con el catalizador ATZ en comparación con la reacción sin catalizador, que en los primeros 15 minutos tiende a tener una conversión hacia 5-HMF con una tendencia similar puesto que el incremento es del 3%, sin embargo, a partir del minuto 30 se incrementa aparentemente en un 67% y a los 45 min tiende a estabilizarse con porcentajes por encima del 95% hasta el tiempo de 120 min, también podemos observar la actividad catalítica de los catalizadores ATZ2%W, ATZ3%W y ATZ5%W, que generan buenos rendimientos del 64.04%, 67.82%, 88.48% para los catalizadores en un tiempo de 15 min, pero para el catalizador ATZ 2% W-15% P el rendimiento disminuye para ese mismo tiempo, a aunque muestra ese comportamiento la reacción continua en la formación de 5-HMF generando porcentajes en rangos aparentemente del 99% a partir de los 45 min en la mayoría de los catalizadores a excepción del catalizador ATZ que muestra en el tiempo 15 un bajo rendimiento pero evidentemente a partir del minuto 30 su eficiencia incrementa. Estos rendimientos elevados a periodos cortos de tiempo puede deberse a la transformación de glucosa en fructosa es muy rápida para la transformación de HMF llamándolo como una deshidratación directa causada por la existencia de centros básicos y ácidos que promueven la isomerización (Zhao, et al., 2018).

Figura 8. Rendimiento de los soportes catalíticos



Es común que en el proceso de conversión de celulosa a HMF **Figura 8**, primeramente se hidrolice a oligosacáridos y glucosa, la cual usualmente es catalizada por un catalizador ácido de Bronsted; luego, con la ayuda de un ácido de Lewis, se produce la isomerización de la glucosa para formar fructosa, y la fructosa sufrirá una reacción de deshidratación consecutiva para formar HMF, y esto se puede ver evidenciado en esta gráfica, ya que en el periodo de 15 a 20 min en la mayoría de los catalizadores se observa que en ese intervalo de tiempo llegan a su máxima conversión a HMF, esto podría deberse a que los catalizadores generan una bifuncionalidad que acelera la isomerización sin formar fructuosa como en periodos cortos de tiempo (Zhao, et al., 2018).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ciertamente la humanidad se enfrenta a diversos problemas de carácter ambiental, lo cual convierte en urgente la necesidad de crear nuevas tecnologías que ayuden a minimizar situaciones medioambientales graves; dado que es un hecho que los combustibles fósiles se agotan a pasos agigantados, así mismo los precios de los hidrocarburos cada vez se incrementan. La industria requiere innovación en el sector energético, sobre todo en el área del petróleo, por esta razón este proyecto de investigación demuestra que los catalizadores

heterogéneos sintetizados en este trabajo bajo las condiciones antes señaladas, generan excelentes rendimientos hacia la molécula Plataforma 5- hidroximetilfurfural, sin embargo se requiere una exhaustiva investigación experimental para corroborar y correlacionar dichos resultados, de igual modo la generación de la evaluación catalítica de el catalizador mono y bimetalico para obtener productos más afines hacia el biodiesel, tal como el 2-dimetilfurano el cual cuenta con características fisicoquímicas similares al del biodiesel.

Propuestas

El Dimetilfurano (DMF) es una molécula de alto valor agregado y se puede producir a través de una hidrogenación o hidrogenólisis apartar del 5-HMF, este compuesto puede derivarse directamente de los carbohidratos de la biomasa, sin embargo es necesario un catalizador que actúe de manera bifuncional para evitar intermedios de reacción y obtener así un producto deseado por ello se propone la evaluación catalítica del catalizador mono y bimetalico Ni-Au soportado en Al₂O₃-TiO₂-ZrO₂ modificado con tungsteno y fosforo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, A. K., (2007)** *Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. Progress in Energy and Combustion Science. Pergamon June 1, 2007, pp 233–271. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003>.*
- Azzouz, A., Nistor, D., Miron, D., Ursu, A. V., Sajin, T., Monette, F., Niquette, P., y Hausler, R., (2006).** *Assessment of Acid–Base Strength Distribution of Ion-Exchanged Montmorillonites through NH₃ and CO₂-TPD Measurements. Thermochim. Acta 2006, 449 (1–2), 27–34. <https://doi.org/10.1016/J.TCA.2006.07.019>.*
- Cabello, C., Rincón, S., y Zepeda, A., (2016).** *Catalizadores Heterogéneos Utilizados Para La Obtención de Biodiesel. Afinidad 2016, 74.*
- Hernández Enríquez, J. M., García Alamilla, R., Páramo García, U., Rodrigo, R. S., y García Serrano, L. A., (2013).** *Síntesis Química, Estudios de Caracterización y Reactividad de Un Material Catalítico a Base de ZrO₂-H₃PW₁₂O₄₀. Quim. Nova 2013, 36 (7), 937–941. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000700003>.*

- Hernández Enríquez, J. M., García Serrano, L. A., García Alamilla, R., y Cortez Lajas, A. C. H., (2009).** *Síntesis, Caracterización y Evaluación Catalítica de Un ZrO₂ Con Fase Monoclínica.* *scielo* 2009, 22.
- Jiao, H., Zhao, X., Lv, C., Wang, Y., Yang, D., Li, Z., y Yao, X., (2016).** *Nb₂O₅-γ-Al₂O₃ Nanofibers as Heterogeneous Catalysts for Efficient Conversion of Glucose to 5-Hydroxymethylfurfural.* *Nat. Publ. Gr.* 2016. <https://doi.org/10.1038/srep34068>.
- Li, C., Zhang, Z., y Zhao, Z. K., (2009).** *Direct Conversion of Glucose and Cellulose to 5-Hydroxymethylfurfural in Ionic Liquid under Microwave Irradiation.* *Tetrahedron Lett.* 2009, 50 (38), 5403–5405. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2009.07.053>.
- Medina Ramírez, I. E., Chávez Vela, N. A., y Jáuregui Rincón, J., (2002).** *Biodiesel, Un Combustible Renovable.* *Investig. Cienc.* 2012, 20, 62–70.
- Mónica, A., Vargas, U., y Rodríguez Paez, J., (s.f).** *Síntesis de TiO₂, Fase Anatasa, Por El Método Pechini Sisaseis de Polvos Cerámicos* *View Project use of nanotechnology as phytopathological control, considering four diseases of interes, for coffee crop. View Project Yasser Halil Ochoa Muñoz Universidad Del Valle (Colombia).*
- Pabón Gelves, E., Milena Borja Ordóñez, S., Ordóñez Loza, J., y Ramírez Vélez, A., (2013).** *Síntesis y caracterización de óxidos mixtos de sílice-titania preparados por método sol-gel y tratamiento hidrotérmico; 2013.*
- Qiu, S., Zhang, X., Liu, Q., Wang, T., Zhang, Q., y Ma, L., (2013).** *A Simple Method to Prepare Highly Active and Dispersed Ni/MCM-41 Catalysts by Co-Impregnation.* *Catal. Commun.* 2013, 42, 73–78. <https://doi.org/10.1016/J.CATCOM.2013.07.031>.
- Shimada, G. B., y Cestari, A., (2020).** *Synthesis of Heterogeneous Catalysts by the Hydrolytic Sol-Gel Method for the Biodiesel Production.* *Renew. Energy* 2020, 156, 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.095>.
- Sun, P., Yu, D. H., Hu, Y., Tang, Z. C., Xia, J. J., Li, H., y Huang, H. H., (2010).** *3 PW 12 O 40 /SiO₂ for Sorbitol Dehydration to Isosorbide: High Efficient and Reusable Solid Acid Catalyst.* *Korean J. Chem. Eng.* 2010 281 2010, 28 (1), 99–105. <https://doi.org/10.1007/S11814-010-0324-2>.
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodríguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., y Sing, K. S. W., (2014).** *Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical*

Report). *Pure Appl. Chem.* 2015, 87 (9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/PAC-2014-1117>.

Yang, Y., Yan, D., Dong, Y., Chen, X., Wang, L., Chu, Z., Zhang, J., y He, J., (2013). *Preparing of Nanostructured Al₂O₃–TiO₂–ZrO₂ Composite Powders and Plasma Spraying Nanostructured Composite Coating.* *Vacuum* 2013, 96, 39–45. <https://doi.org/10.1016/J.VACUUM.2013.03.010>.

Zhao, Y., Wang, S., Lin, H., Chen, J., y Xu, H., (2018). *Influence of a Lewis Acid and a Brønsted Acid on the Conversion of Microcrystalline Cellulose into 5-Hydroxymethylfurfural in a Single-Phase Reaction System of Water and 1,2-Dimethoxyethane.* 2018. <https://doi.org/10.1039/c7ra13387a>.

CÁLCULO, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO EN CAMPESTRE LA MORALEDA, ATLIXCO, PUEBLA

Avelina García Sánchez, Juan Pedro de la Rosa Cervantes,
Virginia García García

RESUMEN

Actualmente, el costo por kilowatt oscila entre el \$1.8 y \$2.3 para usuarios en tarifa 01, las residencias con espacios amplios tienen un consumo energético elevado lo que los posiciona en una tarifa DAC (tarifa de alto consumo) por lo que el costo por kilowatt se eleva hasta en un 300%.

Al calcular, diseñar y construir un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red que sea capaz de suministrar energía suficiente para alimentar las cargas conectadas al circuito de la residencia permite a los habitantes seguir disfrutando de sus espacios y comodidades sin el alto costo de facturación eléctrica que representan.

Con el fin de disminuir el costo por consumo eléctrico se calculó, diseñó y construyó un sistema de generación fotovoltaico de 8 paneles de 550 Watts y un inversor central de 6 kilowatts de potencia que producen aproximadamente entre 20 y 22 kilowatts diarios, lo que generará un excedente de energía en los meses de menor consumo que será aplicable en los meses de mayor consumo, logrando ahorros de hasta \$8,250.00 en su facturación bimestral.

Se pronosticó una pérdida de un 4% debido a la inclinación y orientación previstas que aumento hasta un 8% debido a una modificación significativa en la inclinación de 8 grados que ayuda a ocultar el sistema fotovoltaico de la vista exterior del inmueble a petición del cliente.

Palabras Clave: Fotovoltaico, Interconectado, Ahorro.

Introducción

El presente trabajo lo desarrolló el alumno Jesús Eduardo Hernández Cortés durante sus estadias prácticas; contiene información teórica, el proceso y las actividades a realizar para el diseño, la instalación y puesta en marcha de un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red.

El proyecto inicia con el contacto del cliente para con la empresa o viceversa, una vez que existe la comunicación se requiere de un antecedente de consumo del inmueble para poder realizar el cálculo y el diseño del sistema, normalmente este historial de consumo se puede encontrar en el recibo de cobro que emite la Comisión Federal de Electricidad (CFE), una vez que se cuenta con el historial de consumo se puede realizar un dimensionamiento, que es el cálculo del número de paneles necesarios para cubrir la demanda energética, una vez que se calcula el número de paneles y su potencia se procede a la selección del inversor. Para el cálculo de las protecciones, canalización, conductores y material restante se realiza una visita técnica donde se dibuja un plano a mano alzada del espacio disponible, se analizan las sombras que puedan obstaculizar la generación y se define la orientación e inclinación para el sistema de generación solar fotovoltaico.

Una vez teniendo todos estos datos se realiza una propuesta visual para el cliente donde se presenta el número de paneles, su ubicación, dirección, inclinación y pérdidas del sistema.

Una vez aprobado el lugar de instalación por el cliente y pagado el anticipo se inicia con la instalación, una vez concluida se toman fotos y comienza con la documentación necesaria para generar los contratos de interconexión con CFE. Una vez aprobados y firmados los contratos CFE procede a cambiar el medidor por uno bidireccional que es capaz de medir la generación del sistema solar fotovoltaico. Una vez instalado el nuevo medidor se procede a la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico interconectado. Se conecta a internet para que sea capaz de enviar datos para poder realizar un monitoreo a distancia que permite almacenar datos para medir su generación energética y detectar fallas.

Objetivos

Calcular, diseñar e instalar un sistema solar fotovoltaico interconectado a la red capaz de disminuir en un 90 % la facturación de energía suministrada por CFE.

DESARROLLO

El nombre de fotovoltaico proviene de la raíz phos (Luz, en griego) y de volta -en honor de Alexander Volta (1745-1827), pionero de la electricidad- para designar la generación de electricidad con energía radiante del sol. El efecto fotovoltaico fue descubierto hace siglo y medio (1939) por el físico francés Edmon Becquerel. Casi cuarenta años más tarde, un noble inglés, Willoughby Smith, descubrió que el selenio era sensible a la luz. Estudios posteriores con este elemento permitieron a Adams y Daays comprobar que la luz excitaba el selenio y se generaba electricidad. En 1886 un industrial americano, Charles Firtts, desarrolló la primera célula de selenio, pero la primera célula fotovoltaica no se fabricó hasta el año 1954 en los laboratorios Bell. A grandes rasgos podemos decir que el efecto fotovoltaico es la capacidad que tienen algunos elementos químicos para absorber fotones (nombre que reciben las partículas de luz del sol) y luego liberar una corriente de electrones que, si se captura, puede ser utilizada como electricidad. (Miralles, 2000)

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados. (Renovables, 2021)

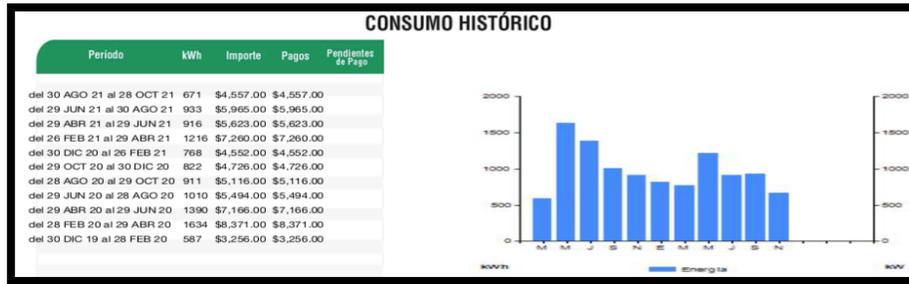
“Gracias al impulso que recibió el sector fotovoltaico en las dos subastas, la energía solar pasará de un porcentaje de participación nulo en el total de generación limpia, registrado en 2016, a 6% para 2018, y a 13% en 2019, aunque por el desarrollo que el sector ha tenido en los recientes meses podemos pronosticar que la participación será todavía mayor”, puntualizó Israel Hurtado. (Forbes México Advertorial, 2017)

Estamos a tiempo. En México, a diferencia de otros países desarrollados o en desarrollo, el sector de la energía solar fotovoltaica aún es incipiente. No obstante, la Secretaría de Energía espera que la participación de la energía solar sea 7 por ciento de la matriz de generación hacia el 2022, cuando hoy no llega al uno por ciento. Ante este crecimiento exponencial, estamos a tiempo para planear, con señales adecuadas de mercado, un sector solar acorde con las necesidades de nuestro sistema eléctrico nacional que aproveche un recurso solar geográficamente distribuido que enfrenta restricciones de interconexión y transmisión eléctrica. (Forbes México Staff, 2017)

MÉTODO

Para dar inicio al proyecto, se parte el análisis del recibo de luz del cliente que es generado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), así se puede conocer la carga que ocupará para cubrir la necesidad energética del cliente, determinar el número de paneles fotovoltaicos y la capacidad del inversor. De igual manera, realizar la debida cotización del proyecto. Para realizar el cálculo y obtener el consumo promedio diario se debe de tomar en cuenta y promediar si es posible el consumo de un año, estos datos se encuentran en la parte posterior del recibo de luz.

Figura 1. Recibo de luz impartido por CFE



Elaboración propia, 2022

Se comienza por tomar los datos meteorológicos de la ubicación del cliente (tabla 1), a través de la plataforma de la Eos Web –NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>) (Power data Acces viewer, 2020). Se registran los datos de los paneles fotovoltaicos, en la tabla 1, los datos se obtienen de la ficha técnica de los paneles fotovoltaico.

Tabla 1. Datos técnicos de los paneles fotovoltaicos

Generación de Energía por Módulo Fotovoltaico																	
Potencia del panel (Wp)	550		Inclinación	20		Latitud	19.0903		Azimut	3		Poi	0.0414%		PR	0.8	
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre					
Días	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31					
Radiación kWh/m2/día	4.97	5.74	6.41	6.56	6.27	5.7	5.62	5.63	4.96	5.14	4.98	4.83					
K	1.13	1.09	1.03	0.97	0.93	0.91	0.93	0.97	1.04	1.11	1.15	1.15					
Energía de un panel KWh/DIA	2.47	2.75	2.90	2.80	2.58	2.28	2.30	2.40	2.27	2.51	2.52	2.44					
Promedio Energía Kwh/día	2.52	Promedio Energía Kwh/bimestral	153.15														

Elaboración propia, 2022

Después se registran los valores del consumo en KW/H al bimestre y el total a pagar en los mismos en la tabla 2, proporcionando también los consumos anteriores con la finalidad de poder tener el registro de 6 bimestres y así poder hacer un buen análisis de la carga consumida durante este año y poder estimar la carga en bimestres futuros.

Tabla 2. Consumo en KW/H ANUAL

TOTAL PAGADO 2021								
BIMESTRES PASADOS	DIC-FEB	FEB-ABR	ABR-JUN	JUN-AGO	AGO-OCT	OCT-DIC	PROMEDIO	
Consumos pasados kwh/bimestre	786	1216	916	933	671	734	876	
Coste por kwh	\$ 4.60	\$ 4.74	\$ 4.87	\$ 5.07	\$ 5.39	\$ 5.66		\$ 0.089
Coste Total por energía	\$ 3,612.69	\$ 5,761.90	\$ 4,462.69	\$ 4,734.12	\$ 3,616.66	\$ 4,156.35		
IVA (16%)	\$ 578.03	\$ 921.90	\$ 714.03	\$ 757.46	\$ 578.67	\$ 665.02		
DAP	\$ 361.27	\$ 576.19	\$ 446.27	\$ 473.41	\$ 361.67	\$ 415.63		
TOTAL A PAGAR	\$ 4,532.00	\$ 7,260.00	\$ 5,623.00	\$ 5,965.00	\$ 4,557.00	\$ 5,237.00	\$ 5,532.333	\$ 33,194.00
MENSUAL	2,276.00	3,630.00	2,811.50	2,982.50	2,278.50	2,618.50	\$ 2,766.167	

COSTO SIN EL SISTEMA 2022							
BIMESTRES FUTUROS	OCT-DIC	AGO-OCT	JUN-AGO	ABR-JUN	FEB-ABR	DIC-FEB	PROMEDIO
Consumos futuros kwh/bimestre	734	671	933	916	1,216	786	876
Coste por kwh	\$ 5.75	\$ 5.84	\$ 5.93	\$ 6.02	\$ 6.11	\$ 6.20	\$ 5.97
Coste Total por energía	\$ 4,221.57	\$ 3,918.85	\$ 5,531.91	\$ 5,512.51	\$ 7,425.97	\$ 4,869.85	\$ 5,246.78
IVA (16%)	\$ 675.45	\$ 627.02	\$ 885.11	\$ 882.00	\$ 1,188.16	\$ 779.18	\$ 839.48
DAP	\$ 422.16	\$ 391.88	\$ 553.19	\$ 551.25	\$ 742.60	\$ 486.99	\$ 524.68
TOTAL A PAGAR	\$ 5,319.17	\$ 4,937.75	\$ 6,970.21	\$ 6,945.76	\$ 9,356.72	\$ 6,136.01	\$ 6,610.94
MENSUAL	\$ 2,659.59	\$ 2,468.87	\$ 3,485.11	\$ 3,472.88	\$ 4,678.36	\$ 3,068.01	\$ 3,305.47

Elaboración propia, 2022

Al término del paso anterior se genera la tabla 3 con la estimación supuesta por los datos agregados, del número de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir con la demanda. Se obtienen dos diferentes números de módulos con la finalidad de brindarle al cliente dos costes por instalación según este considere que se ajusta mejor a sus necesidades, así como a su presupuesto, el primero de 6 módulos le garantiza un 104 % de generación, mientras que el de 8 módulos le garantiza un total de 140% de generación por si en algún momento su demanda de energía aumenta.

Tabla 3. Selección de Módulos

Selección de Módulos	
Demanda kWh/día	14.60
Energía de un Módulo en el Mes promedio	2.518
Numero de Módulos	5.80
Metros a utilizar	6
Generacion Total diaria	15.00 Mts 2
Generacion Total Mensual	15.11 KWH
Generacion Total Bimestral	459.46 KWH
Generacion Total Anual	918.91 KWH
Capacidad Instalada	5,513.47 KWH
	3.300 kWp

Numero de Modulos	8
Metros a utilizar	20.00 Mts 2
Generacion Total diaria	20.14 KWH
Generacion Total Mensual	612.61 KWH
Generacion Total Bimestral	1225.21 KWH
Generacion Total Anual	7,351.29 KWH
Capacidad Instalada	4.400 kWp

Elaboración propia, 2022

A continuación, el sistema proporciona dos tablas adicionales (4 y 5), en las cuales se puede observar los costes a pagar en los recibos futuros, en esta sección existen dos cosas muy importantes: la primera es que el consumo mínimo en KW/H es de 50 y no de 0; esto es debido a que, aunque se genere el 100% del consumo, CFE utiliza este monto mínimo como cuota de recuperación por el servicio que brinda. El segundo punto es que el cliente se encuentra en tarifa DAC (Tarifa Doméstica de Alto Consumo) es la que aplica CFE en México, para usuarios con consumos superiores a los 3000 KW/H por año, o aquellos cuyo promedio de los últimos seis bimestres esté por arriba de los 500KW/H por bimestre. La tarifa DAC se aplica automáticamente a los usuarios que alcanzan estos niveles de consumo, así que remarca con una línea de color verde el tiempo que tardaremos en salir de la tarifa DAC, y en azul el pago del primer año con el sistema.

Tabla 4. Pago futuro con 6 módulos instalados.

COSTO CON 6 MODULOS 2018								
	OCT-DIC	AGO-OCT	JUN-AGO	ABR-JUN	FEB-ABR	DIC-FEB	PROMEDIO	
Consumos futuros kwh/bimestre	50	50	50	50	297	50	91	
Coste por kwh	\$ 5.75	\$ 5.84	\$ 5.93	\$ 6.02	\$ 6.11	\$ 6.20	\$ 5.97	
Coste Total por energía	\$ 287.57	\$ 292.02	\$ 296.46	\$ 300.90	\$ 1,814.29	\$ 309.79	\$ 550.17	
IVA (16%)	\$ 46.01	\$ 46.72	\$ 47.43	\$ 48.14	\$ 290.29	\$ 49.57	\$ 88.03	
DAP	\$ 28.76	\$ 29.20	\$ 29.65	\$ 30.09	\$ 181.43	\$ 30.98		
TOTAL A PAGAR	\$ 362.34	\$ 367.94	\$ 373.54	\$ 379.14	\$ 2,286.00	\$ 390.33	\$ 693.21	\$ 4,159.289
PAGO DEL 1º AÑO	\$ 315.40	\$ 303.24	\$ 305.87	\$ 308.49	\$ 891.64	\$ 585.42		\$ 2,710.06
Tarifa CFE de segundo escalon	\$ 0.956	\$ 0.980	\$ 1.004	\$ 1.030	\$ 1.055	\$ 1.082	\$ 1.02	
Coste por energía	\$ 47.80	\$ 49.00	\$ 50.22	\$ 51.48	\$ 313.50	\$ 54.08	\$ 94.35	
IVA (16%)	\$ 7.65	\$ 7.84	\$ 8.04	\$ 8.24	\$ 50.16	\$ 8.65	\$ 15.10	
DAP	\$ 4.78	\$ 4.90	\$ 5.02	\$ 5.15	\$ 31.35	\$ 5.41		
TOTAL A PAGAR	\$ 61.18	\$ 62.71	\$ 64.28	\$ 65.89	\$ 396.07	\$ 69.22	\$ 119.89	\$ 719.359
MENSUAL	30.59	31.36	32.14	32.94	198.03	34.61	\$ 59.95	

Elaboración propia, 2022

Tabla 5. Pagos futuros con 8 módulos instalados

COSTO CON 8 MODULOS 2018								
BIMESTRES FUTUROS	OCT-DIC	AGO-OCT	JUN-AGO	ABR-JUN	FEB-ABR	DIC-FEB	PROMEDIO	
Consumos futuros kwh/bimestre	50	50	50	50	50	50	50	
Coste por kwh	\$ 5.75	\$ 5.84	\$ 5.93	\$ 6.02	\$ 6.11	\$ 6.20	\$ 5.97	
Coste Total por energía	\$ 287.57	\$ 292.02	\$ 296.46	\$ 300.90	\$ 305.34	\$ 309.79	\$ 298.68	
IVA (16%)	\$ 46.01	\$ 46.72	\$ 47.43	\$ 48.14	\$ 48.86	\$ 49.57	\$ 47.79	
DAP	\$ 28.76	\$ 29.20	\$ 29.65	\$ 30.09	\$ 30.53	\$ 30.98		
TOTAL A PAGAR	\$ 362.34	\$ 367.94	\$ 373.54	\$ 379.14	\$ 384.73	\$ 390.33	\$ 376.34	\$ 2,258.02
PAGO DEL 1º AÑO	116.40	119.31	122.29	125.35	128.48	131.69		\$ 743.52
Coste por energía	\$ 0.96	\$ 0.98	\$ 1.00	\$ 1.03	\$ 1.06	\$ 1.08	\$ 1.02	
Coste por energía	\$ 47.80	\$ 49.00	\$ 50.22	\$ 51.48	\$ 52.76	\$ 54.08	\$ 50.89	
IVA (16%)	\$ 7.65	\$ 7.84	\$ 8.04	\$ 8.24	\$ 8.44	\$ 8.65	\$ 8.14	
DAP	\$ 4.78	\$ 4.90	\$ 5.02	\$ 5.15	\$ 5.28	\$ 5.41	\$ 5.09	
TOTAL A PAGAR	\$ 61.18	\$ 62.71	\$ 64.28	\$ 65.89	\$ 67.54	\$ 69.22	\$ 65.14	\$ 390.83
MENSUAL	30.59	31.36	32.14	32.94	33.77	34.61	32.57	

Elaboración propia, 2022

El sistema muestra dos tablas que reflejan el retorno de inversión del cliente: la primera con 6 módulos, su retorno de inversión es de 2 años con 6 meses y la segunda con 8 módulos su retorno de inversión es de 3 años con 4 meses aproximadamente.

Tabla 6. Retorno de inversión con 6 módulos

RETORNO DE INVERSION CON 6 MODULOS										
AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PAGARIA AL AÑO SIN EL SISTEMA	39,665.64	43,275.21	47,213.25	51,509.66	56,197.04	61,310.97	66,890.27	72,977.28	79,618.21	86,863.47
PAGARIA AL AÑO CON EL SISTEMA	2,710.06	751.01	784.06	818.55	854.57	892.17	931.43	972.41	1,015.20	1,059.86
AHORRO POR AÑO	36,955.58	42,524.20	46,429.20	50,691.11	55,342.47	60,418.80	65,958.84	72,004.87	78,603.02	85,803.61
RETORNO DE INVERSION CON 6 MODULOS	-102,304.42	-59,780.22	-13,351.02	37,340.08	92,682.55	153,101.35	219,060.19	291,065.06	369,668.08	455,471.69
COSTO PROMEDIO AL BIMESTRE SIN EL SISTEMA	6,610.94	7,212.53	7,868.88	8,584.94	9,366.17	10,218.49	11,148.38	12,162.88	13,269.70	14,477.25
COSTO PROMEDIO AL BIMESTRE CON EL SISTEMA	451.68	125.17	130.68	136.43	142.43	148.70	155.24	162.07	169.20	176.64

Elaboración propia, 2022

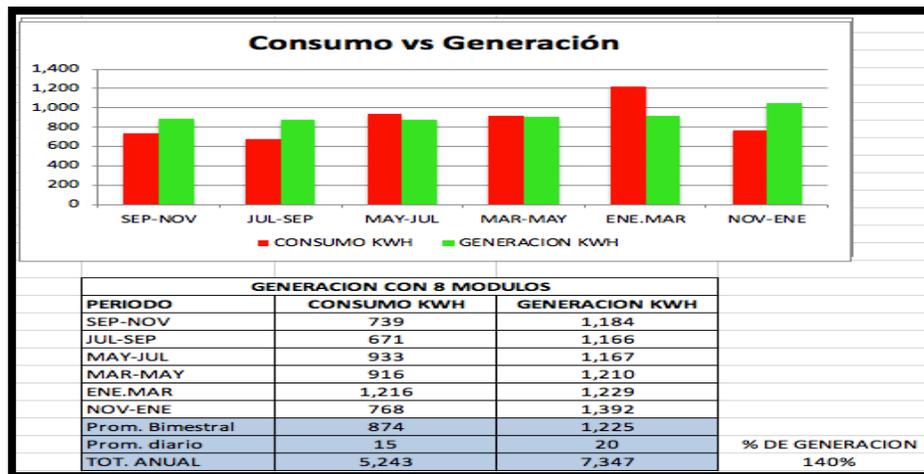
Tabla 7. Retorno de inversión con 8 módulos

RETORNO DE INVERSION CON 8 MODULOS										
AÑOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PAGARIA AL AÑO SIN EL SISTEMA	39,665.64	43,275.21	47,213.25	51,509.66	56,197.04	61,310.97	66,890.27	72,977.28	79,618.21	86,863.47
PAGARIA AL AÑO CON EL SISTEMA	743.52	408.02	425.98	444.72	464.29	484.72	506.04	528.31	551.56	575.82
AHORRO POR AÑO	38,922.12	42,867.19	46,787.28	51,064.94	55,732.75	60,826.25	66,384.22	72,448.97	79,066.66	86,287.65
RETORNO DE INVERSION CON 8 MODULOS	-119,917.88	-77,050.70	-30,263.42	20,801.52	76,534.27	137,360.53	203,744.75	276,193.72	355,260.38	441,548.03
COSTO PROMEDIO AL BIMESTRE SIN EL SISTEMA	6,610.94	7,212.53	7,868.88	8,584.94	9,366.17	10,218.49	11,148.38	12,162.88	13,269.70	14,477.25
COSTO PROMEDIO AL BIMESTRE CON EL SISTEMA	123.92	68.00	71.00	74.12	77.38	80.79	84.34	88.05	91.93	95.97

Elaboración propia, 2022

Por último, se generan unas gráficas en las cuales se compara el consumo contra la generación energética del sistema y se ve reflejado el gran apoyo que de éste se obtiene.

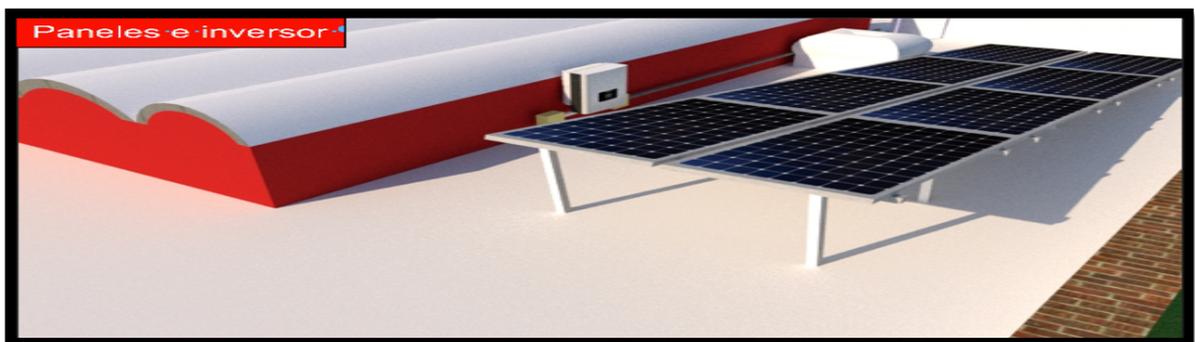
Tabla 8. Consumo vs Generación de 8 módulos.



Elaboración propia, 2022

En este paso se realiza una medición eléctrica del tablero general de la residencia y los resultados se registran para poder tener un análisis de las cargas; también se toman medidas del terreno para poder hacer una propuesta visual que se le entregará al cliente. Se genera una simulación en la plataforma de dibujo sketchup, con el cual se obtiene una idea de cuál sería la zona óptima para instalar el sistema fotovoltaico, así como hacer una estimación del material que ocupará para la instalación del mismo.

Figura 2. Vista de paneles e inversor de la propuesta visual



Elaboración propia, 2022

Se comienza la instalación armando las estructuras para los paneles fotovoltaicos, para esto se toman en cuenta los siguientes aspectos:

El material del cual se construirán las estructuras debe soportar la corrosión de la intemperie. Las estructuras que se instalarán serán rompe vientos; se orientarán lo más posible hacia al sur, para un mejor aprovechamiento de la radiación solar; serán para 8 paneles fotovoltaicos del tipo lineal. Tienen una inclinación de 10° a petición del cliente para que la estructura no sobre salga y sea visible; tendrán una altura en la parte delantera de 0.05m y en la parte trasera de 1.70 m. Después del armado de las estructuras se prosigue con anclar las estructuras al techo con la finalidad de asegurar que las mismas no tengan ningún tipo de movimiento y así evitar accidentes o averías del sistema fotovoltaico.

Indicaciones para el anclaje químico: Se inicia haciendo una perforación en el techo con una broca de 5/8", aproximadamente de unos 8cm de profundidad; se procede a limpiar la superficie perforada. Al finalizar la limpieza de la cavidad seguimos por aplicar nuestro anclaje químico por dentro de la perforación.

Por último, se introduce la varilla para que quede sujeta al suelo, tarda alrededor de 2 minutos en secar el compuesto químico, Una vez que las estructuras se encuentran firmes se continúa con la colocación de los paneles fotovoltaicos. En este paso se cablean los arreglos en serie con dirección a los inversores y que de este mismo salga los cables con corriente alterna y se canalizan hasta el punto de interconexión.

Las canalizaciones no podrán ser la misma para corriente directa y para corriente alterna, aclaro que como los tres arreglos tienen una distancia considerable, haremos la canalización y ruteo de cable en una sola canalización de $\frac{3}{4}$ de pulgada, pero llegarán las tres a las protecciones de corriente directa y corriente alterna.

Este es el último paso en lo que respecta a la instalación, es el paso más importante y uno de los más peligrosos ya que se trabaja con corriente viva. En este punto cabe señalar que es precisamente en donde se junta la energía que suministra CFE con la energía que genera en el sistema fotovoltaico y esta interconexión se realiza en el tablero de carga general de la vivienda. Se hace una inspección minuciosa de sistema instalado, desde la puesta de las estructuras, la colocación de los paneles fotovoltaicos, el ruteado de cada uno de los cables, así como se toman las lecturas de energía que generan los paneles fotovoltaicos. En esta actividad se prepara la documentación necesaria para poder entregarla a CFE para que genere un contrato de interconexión. Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, son: que tenga un contrato de suministro normal en baja tensión,

que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, y que la potencia de la fuente no sea mayor de 10 kW si está instalada en tu domicilio o de 30 kW si está instalada en un negocio.

RESULTADOS

Después de un análisis completo del historial de consumo energético comprendido entre el 21 de noviembre del 2020 al 21 de noviembre del 2021 que se puede observar en la segunda parte del recibo de facturación de CFE, se determinó que se necesitan un promedio diario de 14.56 kWh.

La segunda fila de la tabla 9 muestra la potencia de 550 W de los paneles fotovoltaicos seleccionados, la inclinación a la que se planea instalar el sistema, el azimut, que es básicamente la diferencia de grados entre el sur geográfico y la orientación de los paneles y por último PR que es la eficiencia del inversor, para este caso se utiliza una eficiencia de 80%. En la tercer y cuarta fila se pueden observar los meses con sus respectivos días; la cuarta fila muestra los valores de radiación promedio mensual que se obtiene de la página de la NASA. En la penúltima fila se puede observar la generación diaria de un panel solar fotovoltaico de 550 Watts que varía de acuerdo a los datos de radiación obtenidos de la página de la NASA. La última fila se observa el promedio diario y mensual durante el año de generación de un panel solar fotovoltaico de 550 Watts.

Tabla 9. Datos técnicos de los paneles fotovoltaicos

Generación de Energía por Módulo Fotovoltaico																	
Potencia del panel (Wp)	550		Inclinación	20		Latitud	19.0903		Azimut	3		Poi	0.0414%		PR	0.8	
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre					
Días	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31					
Radiación kWh/m2/día	4.97	5.74	6.41	6.56	6.27	5.7	5.62	5.63	4.96	5.14	4.98	4.83					
K	1.13	1.09	1.03	0.97	0.93	0.91	0.93	0.97	1.04	1.11	1.15	1.15					
Energía de un panel kWh/DIA	2.47	2.75	2.90	2.80	2.56	2.28	2.30	2.40	2.27	2.51	2.52	2.44					
Promedio Energía kWh/día	2.52	Promedio Energía kWh/bimestral	153.15														

Elaboración propia, 2022

Desprendido de los datos técnicos del panel solar fotovoltaico que se muestra en el anexo x, obtenemos 2 valores importantes para la selección del inversor. Uno de ellos es la potencia de 550 Watts y el otro la corriente máxima que es de 13.48 Amperes.

La tabla 10 muestra en su última fila la capacidad instalada de 4.4 kWp, que se determina de la suma de las potencias de los módulos solares fotovoltaicos. Para una producción bimestral de 1225 kWh son necesarios implementar 8 paneles de la potencia seleccionada. El inversor seleccionado deberá cumplir con estos 2 parámetros obtenidos, debe tener una capacidad mayor o igual a 4.4 kWp y trabajar con una corriente superior a 13.48 Amperes.

Tabla 10. Selección de Módulos

Número de Módulos	8
Metros a utilizar	20.00 Mts 2
Generación Total diaria	20.14 KWH
Generación Total Mensual	612.61 KWH
Generación Total Bimestral	1225.21 KWH
Generación Total Anual	7,351.29 KWH
Capacidad Instalada	4.400 kWp

Elaboración propia, 2022

El diseño del sistema se genera mediante el programa de SKETCHUP y se realiza una propuesta visual que se muestra en el anexo XII. Con la finalidad de no incrementar el amperaje que circula por el circuito de corriente directa se diseñó el arreglo de los 8 paneles solares fotovoltaicos conectados en serie (véase en la Figura 3)

Figura 3. Arreglo de ocho paneles de 550 W en serie



Elaboración propia, 2022

La instalación de un sistema solar fotovoltaico se puede dividir en 2 secciones importantes: la sección de corriente alterna y la de corriente directa. Los costos de materiales de corriente directa son más elevados ya que debido a la corriente circulante permanente se tienen que hacer más robustos en sus componentes, el cable utilizado en la esta sección también es más caro, ya que es reforzado y con protección UV. Con la finalidad de disminuir este costo se decidió ubicar el inversor bajo los módulos, para disminuir el material necesario para su conexión como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Ubicación de inversor y protecciones del SFVI



Elaboración propia, 2022

La sección de corriente alterna se canaliza en tubo conduit de pared delgada directamente de la caja combinadora que contiene las protecciones junto al inversor hasta el punto de interconexión como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Canalización de sección de corriente alterna del SFVI



Elaboración propia, 2022

El principal motivo para la implementación del sistema solar fotovoltaico interconectado es la reducción del costo de facturación de energía eléctrica que consume la casa habitación; el resultado más importante sería entonces el correcto funcionamiento y la generación estimada en el cálculo; lamentablemente por los tiempos de respuesta y atención que maneja CFE no se ha atendido la revisión del sistema, por lo cual no sea podido realizar el cambio de medidor. El medidor bidireccional es de suma importancia porque permite la medición de generación y consumo mediante un sistema de bypass.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que la base para un buen diseño, cálculo e implementación de un sistema solar fotovoltaico interconectado es el conocimiento de las normas aplicables y los requerimientos de CFE para no obstaculizar los tramites y la puesta en marcha de dichos sistemas. Todo el proyecto se basa un cálculo adecuado a las necesidades de demanda y consumo de cada cliente y es por eso que se debe de realizar adecuadamente. La selección de los elementos que conformarán el sistema es de suma importancia ya que ellos determinarán el porcentaje de pérdidas y si se cumple con la generación estimada en el cálculo realizado previamente. Otros de los aspectos importantes a la hora de la implementación son la inclinación y la orientación, ya que de ellos depende que la radiación solar incida por mayor tiempo y perpendicularmente a las celdas fotovoltaicas aumentando la eficiencia en la generación de energía. El sistema solar fotovoltaico interconectado instalado en el fraccionamiento la Moraleda en Atlixco, Puebla está diseñado para suministrar un promedio diario de 20 kW y se prevé que cumpla con una disminución total de los costos de consumo energético que se generan.

Propuestas

La inclinación óptima de los paneles solares fotovoltaicos se determina por la latitud del sitio donde se van a instalar, para Atlixco la latitud es de 19 grados aproximadamente por lo cual esa debería de ser la inclinación adecuada para que los rayos del sol incidan de forma perpendicular. Por petición del cliente se disminuyó a 10 grados la inclinación lo que derivó en una disminución del 5% en la eficiencia del sistema.

El sistema solar fotovoltaico debe estar orientado de Norte a Sur geográfico, para que la radiación solar incida durante mayor tiempo en las celdas fotovoltaicas. Se recomienda alinear las celdas para evitar pérdidas. Es muy importante realizar una lista de todos los materiales, herramientas y equipos necesarios para la instalación y confirmar y checar que se encuentren todos a la hora de una instalación para evitar retrasos e inconvenientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Forbes México Advertorial (16 de agosto de 2017). <https://www.forbes.com.mx/energia-solar-fotovoltaica/>

Forbes México Staff, (16 de agosto de 2017). <https://www.forbes.com.mx/el-sol-brilla-para-todos/>

Miralles, J. (2000). *Perspectiva ambiental 16 energía fotovoltaica*. Barcelona: Associació de Mestres Rosa Sensat Drassanes.

Power data Acces viewer. (2020). <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Renovables, A. d. (2021). *appa renovables*. <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica//>

NANOBARRAS DE ZnO OBTENIDAS EN BAJA TEMPERATURA PARA APLICACIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

Fabiola del Carmen Gómez Torres, José Luis Cervantes López,

Laura Lorena Díaz Flores

RESUMEN

Se obtuvo ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET, mediante el depósito por centrifugado de una capa de ZnO y adicional un crecimiento de nanobarras de ZnO por el método hidrotermal. Se utilizó el proceso sol gel para la síntesis de ZnO que recubrió el sustrato flexible de ITO/PET mediante centrifugado para obtener una capa semilla que permitiera la nucleación y crecimiento de nanobarras de ZnO. La temperatura de secado de la capa semilla fue de 90 °C y posteriormente, el sustrato recubierto de ZnO se colocó cara abajo en una solución de nitrato de zinc hexahidratado [$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] y hexametilentetramina ($C_6H_{12}N_4$) empleada para la síntesis hidrotermal de ZnO durante 2.5 horas a 90 °C a 10 mM de concentración. Se realizó el estudio de las propiedades estructurales, morfológicas y eléctricas de los recubrimientos. La evaluación estructural realizada por difracción de rayos X revela la estructura hexagonal wurtzita y una orientación preferencial en el plano (002). La evaluación morfológica muestra nanobarras con un diámetro promedio de 60 a 65 nm. La medición de voltaje obtuvo un valor de 0.6 V en respuesta al estrés mecánico. Teniendo como posible aplicación en nanogeneradores piezoeléctricos.

Palabras Clave: ZnO, Hidrotermal, Nanobarras

Introducción

La energía es indispensable para la vida diaria y el desarrollo sostenible de la sociedad moderna (Indira, et. al, 2019). El incremento en el calentamiento global, el cambio climático y la disminución de las reservas de energía llevaron a una investigación dedicada a las fuentes

de energía sostenibles y renovables (Olabi, 2017). La energía hidráulica, la biomasa, la eólica, geotérmica y la solar son fuentes de energía renovable que contribuyen en el requerimiento de energía a una escala de potencia de megavatios a gigavatios.

En las últimas décadas, la recolección de energía ha sido investigada debido al incremento del uso de dispositivos para el Internet de las cosas (IoT) (Zeadally, et. al, 2020), dispositivos electrónicos portátiles (Li, et. al, 2020), biomedicina (Ali, et. al, 2019), entre otros, porque requieren energía de fuentes que sean de larga duración y libres de mantenimiento. En general, estos dispositivos dependen de baterías, que tienen una vida útil limitada y generan riesgos ambientales. Estos dispositivos consumen potencia desde microwatts (μW) hasta unos cuantos Watts. En ese rango de consumo energético, la energía de generadores de estructuras nanométricas brinda una respuesta a esta demanda. Los nanogeneradores (NG's) se han basado en el efecto piezoeléctrico, tribo y piroeléctrico, el primero de su tipo fue desarrollado en el año 2006 por Wang et al (Wang, y Song, 2006). La piezoelectricidad es una propiedad de algunos cristales, en los que se pueden polarizar eléctricamente al ser sometidos a presión (tensión mecánica). La energía mecánica ambiental como la energía de movimiento del cuerpo humano, que se genera con el flujo de sangre, la inhalación, la exhalación, el movimiento de las extremidades superiores, escribir con los dedos y caminar, son actividades cuya energía potencial puede ser convertida en electricidad (Zou, et al., 2021). Los NG's son un gran avance en el campo de las técnicas de recolección de energía ambiental, ya que son sistemas ligeros, sostenibles y libre de mantenimiento (Indira, et al., 2019).

DESARROLLO

Limpieza del sustrato ITO/PET, tratamiento por luz ultravioleta (UV) y secado al horno

Se utilizó como sustrato el tereftalato de polietileno (ITO/PET) recubierto con óxido de indio y estaño, con un área superficial de $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$, de la marca MSE Supplies. Los sustratos de ITO/PET se limpiaron con acetona, alcohol etílico y agua desionizada en un baño ultrasónico durante 10 minutos, en cada solvente. Los sustratos se colocaron en el horno durante 5 minutos a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para el secado. El siguiente paso previo al depósito de la solución

precursora de ZnO, fue un tratamiento con luz ultravioleta (UV). Finalmente, un tratamiento de secado en horno a 100 °C durante 30 minutos.

Síntesis de la solución precursora de ZnO por sol gel para capa semilla

El objetivo de la capa semilla es desarrollar un crecimiento uniforme de nanobarras de ZnO en el sustrato, para obtener una orientación perpendicular al sustrato.

Previo al proceso de crecimiento de nanobarras de ZnO, los sustratos de ITO/PET deben prepararse con una capa de acoplamiento de ZnO utilizando una solución precursora de ZnO que se sintetiza por el método sol gel. Para este propósito, se utilizó acetato de zinc dihidratado [$Zn(O_2CCH_3)_2(H_2O)_2$] (JT Baker, 99,0-101 %), alcohol isopropílico (JT Baker, 95 %) y etanolamina [C_2H_7NO] como material precursor, disolvente y estabilizador, respectivamente. La relación molar de acetato de zinc dihidratado y etanolamina fue 1:1 y la concentración de acetato de zinc fue de 15 mM (Wang, et. al., 2017). Esta disolución se sometió a agitación constante durante 2 horas a 60 °C para promover la disolución completa del reactivo precursor y obtener una solución homogénea, la cual se envejeció durante 24 horas para obtener la solución para la capa semilla de ZnO.

MÉTODO

Con este método, se espera que se formen pequeños oligómeros de oxoacetato de zinc en la etapa inicial, a partir de la hidrólisis forzada gradual de complejos solubles, como Zn, durante el envejecimiento (Simfukwe, et. al, 2017).

Los sustratos de ITO/PET se recubrieron por centrifugado con la solución precursora de ZnO para obtener una capa de semilla (CS), el equipo de centrifugado marca Laurell, trabajó a una presión de 70 *PSI* en un ambiente de gas nitrógeno, con un flujo de vacío de 23.6 *PSI*. El procedimiento para obtener la CS, consistió en colocar el sustrato en el soporte del equipo de centrifugado, depositar 100 μ l de la solución precursora de ZnO sobre el sustrato de ITO/PET e iniciar el proceso de centrifugado a una velocidad de 1000 rpm durante 30 segundos. Los sustratos de ITO/PET recubiertos con la capa de acoplamiento se colocaron en el horno para un tratamiento de secado a 100 °C durante 30 minutos. Este proceso de recubrimiento/secado se repitió dos veces más, con un tiempo de secado de 30 minutos a 100 °C en cada una de las tres capas depositadas.

Proceso de crecimiento hidrotérmal de nanobarras (NB's) de ZnO

Para el crecimiento de las NB's de ZnO se preparó la solución hidrotérmal (SH) mezclando una solución acuosa equimolar de nitrato de zinc hexahidratado [$Zn(NO_3)_2$] Sigma Aldrich, 98%) y hexametilentetramina [$C_6H_{12}N_4$] (Sigma Aldrich, 99%). La solución se preparó a 10 mM de concentración. El sustrato recubierto con la capa semilla de ZnO se colocó en 25 ml de solución de nitrato de zinc hexahidratado y hexametilentetramina. El sustrato se colocó cara abajo sobre la solución hidrotérmal, posteriormente, el reactor se colocó en un horno convencional. Cuando las muestras alcanzaron los 90 °C, el tiempo de crecimiento fue de 150 minutos. Posterior al proceso hidrotérmal, las muestras fueron enjuagadas en agua desionizada y secadas a 100 °C en horno por 10 minutos.

En la Tabla 1, se enlistan los reactivos utilizados para la síntesis de la solución precursora de la capa semilla y el crecimiento hidrotérmal de nanobarras de ZnO.

Tabla 1. Reactivos para la síntesis de ZnO por sol gel e hidrotérmal

Reactivos	Marca	Fórmula condensada	Masa molecular ($gmol^{-1}$)	Densidad (gcm^{-3})	Pureza (%)
<i>Solución precursora de Óxido de Zinc</i>					
Acetato de zinc dihidratado	CIVEQ	$Zn(O_2CCH_3)_2(H_2O)_2$	219.5	1.740	99.8
Monoetanolamina	J. T. Baker	C_2H_7NO	61.08	1.012	99.5
Alcohol Isopropílico	J. T. Baker	CH_3CH_2OH	60.1	0.786	99.5
<i>Solución crecimiento hidrotérmal</i>					
Nitrato de Zinc hexahidratado	Sigma Aldrich	$Zn(NO_3)_2$	189.36	2.06	99
Hexametilentetramina	Sigma Aldrich	$C_6H_{12}N_4$	140.18	1.33	98
Agua desionizada	Meyer	H_2O	18.01	1.0	

Síntesis en laboratorio de PMMA y depósito por centrifugado

El PMMA que se deposita como una de las capas en el NG de ZnO que funciona como una capa aislante que evita el cortocircuito entre los electrodos de ITO y el electrodo metálico superior (Chelu, et al., 2020).

Para realizar la síntesis se diluyó PMMA al 10% peso molecular en tolueno a 50 °C durante 3 horas en agitación. Con la solución obtenida se depositaron 200µl por centrifugado a 1000 rpm por 30 segundos, la capa obtenida se secó a 100°C por 10 minutos, el proceso se repitió para obtener 2 capas de PMMA.

Depósito de electrodo de plata

La operación de un nanogenerador piezoeléctrico de ZnO, demanda una barrera de potencial en la interfaz entre el ZnO y un electrodo que protege el potencial piezoeléctrico de ser cancelado por el flujo de corriente de un circuito externo. Los materiales con función de trabajo alto como el platino ($\Phi_{Pt} = 5.12 - 5.93$ eV) y el oro ($\Phi_{Au} = 5.1 - 5.47$ eV) han sido utilizados como electrodos de nanogeneradores de ZnO, porque proporcionan una alta barrera Schottky en la interfaz. Sin embargo, electrodos de Pt y Au involucran procesos y materiales de alto costo. Una posible solución de electrodos más rentables, se han reportado electrodos de plata (Ag), a pesar de su función de trabajo relativamente baja ($\Phi_{Ag} = 4.26 - 4.74$ eV), puede formar una barrera Schottky relativamente grande debido a su oxidación que puede introducir una función de trabajo efectiva considerablemente alta y / o una interfaz capa dieléctrica (Lee, et. al, 2014). Esta propiedad interfacial depende no sólo en los materiales de los electrodos, pero también en la formación de las técnicas de los electrodos.

Por lo general, los electrodos de nanogeneradores son fabricados por depósitos al vacío (Costa, et. al, 2018) y procesos de litografía (Abubakar, et al., 2020), este tipo de depósitos requiere de equipo de alto costo y/o condiciones de alto vacío. Por tal motivo, el depósito del electrodo se realizó mediante pintura de plata conductiva, debido a que es un proceso sencillo de utilizar.

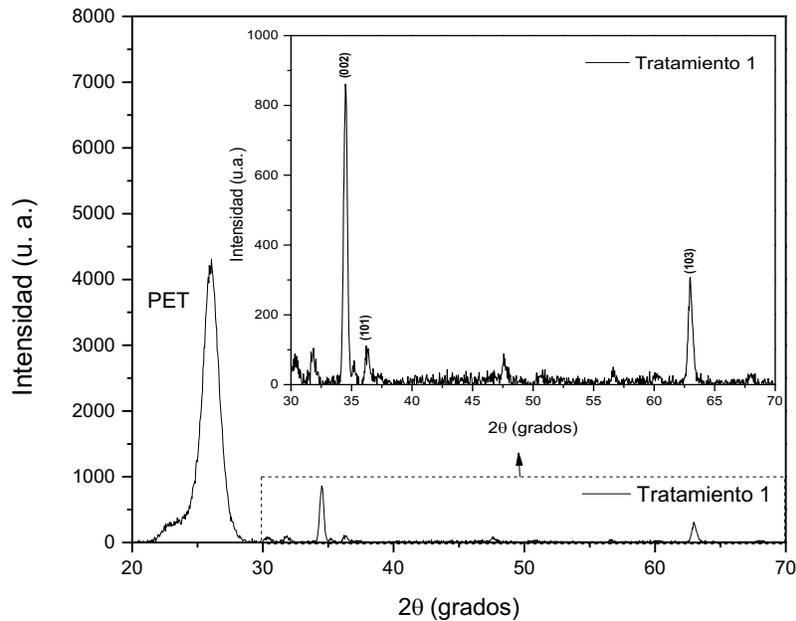
Para realizar la capa del electrodo de plata, se depositaron 1.5 mm de pintura conductora de plata sobre un área de 2.5 cm², para obtener una capa de 3 micras de espesor. Posterior al depósito, el tratamiento de secado fue de 60 °C durante 30 minutos.

RESULTADOS

Determinación de las fases cristalinas por la caracterización de Difracción de Rayos X de las NB's de ZnO y cálculos estructurales.

El grado de cristalinidad de la capa con NB's de ZnO crecidas sobre el sustrato flexible de ITO/PET se muestra en el patrón de Difracción de Rayos X (DRX), mostrado en la Figura 1. Una señal intensa se centra en $26^\circ 2\theta$, que corresponde al sustrato PET. Además, existen tres picos principales ubicados aproximadamente a $34.52^\circ(2\theta)$, $36.35^\circ(2\theta)$, $62.98^\circ(2\theta)$, correspondientes al compuesto de ZnO en su fase hexagonal wurtzita, en los planos (002), (101) y (103), lo cual es consistente con los valores del patrón tarjeta ICCD No. 00-036-1451. En la Figura 1 se observa ZnO policristalino y presenta crecimiento preferencial perpendicular al sustrato, es decir, en el plano (002).

Figura 1. Patrón de DRX de NB's crecidas sobre sustrato ITO/PET, mediante método hidrotermal.

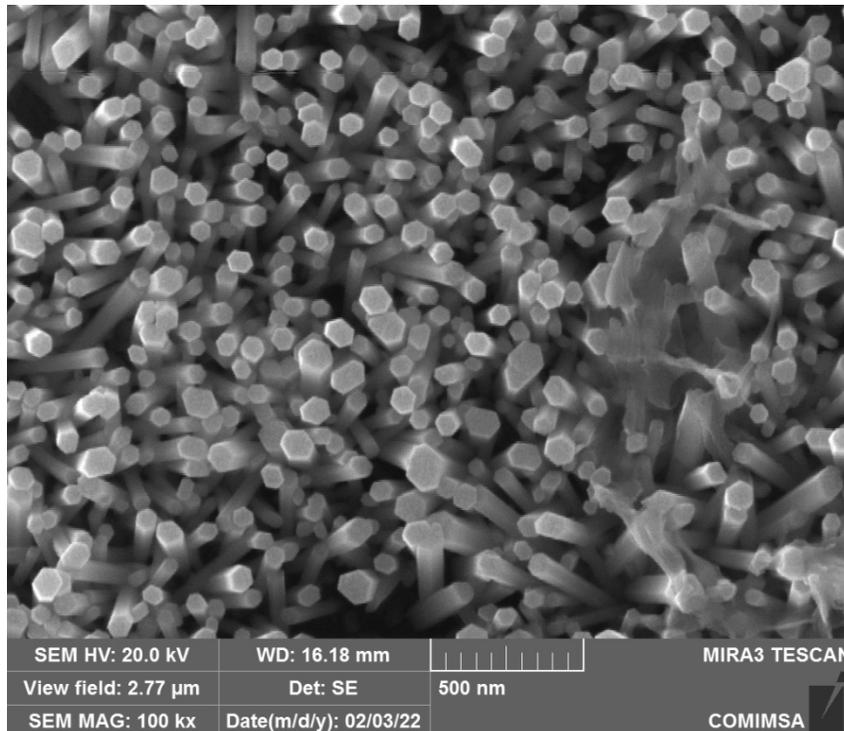


No se observaron picos característicos intermedios de impureza de $Zn(OH)_2$ (Al-rueishi et al., 2017), lo que indica que el material precursor se disolvió dentro del núcleo de ZnO (tarjeta ICCD No. 38-0385).

Se realizó el análisis morfológico de la capa con NB's de ZnO por Microscopia Electrónica de Barrido de Emisión de Campo. Para conocer las características morfológicas

de las NB's de ZnO se aplicó la medición por Microscopía Electrónica de Barrido de Emisión de Campo (FESEM). Asimismo, el análisis FESEM se realizó para determinar la morfología de las estructuras sintetizadas, así como el tamaño y la orientación de las NB's. En la Figura 2 se muestran las propiedades morfológicas de las nanobarras de ZnO crecidas sobre un sustrato PET/ITO flexible.

Figura 2 Nanobarras de ZnO con tratamiento térmico a 100 °C por 30 minutos



Se observó crecimiento de nanobarras hexagonales, donde es posible observar un diámetro promedio de 65 nm, también muestra crecimiento completo vertical en el eje “C” de NB's con dimensiones alrededor de 400 a 730 nm de longitud, además, en la parte superior muestra una faceta hexagonal, lo que indica que esta morfología son cristales que crecen a lo largo de la dirección [002].

También se puede observar una alta densidad de crecimiento de NB's con un recubrimiento homogéneo en toda la superficie. El crecimiento de las NB's de ZnO se puede atribuir a la concentración en la etapa del proceso hidrotérmal, cuando las concentraciones de Zn^{2+} y OH^- alcanzan el valor crítico de sobresaturación y comienza la nucleación, los planos superiores polares atraen más iones (porque estas caras [001] son polares)

contribuyendo a un crecimiento de las NB's de ZnO alineadas verticalmente (Thanh, et. al, 2014). Con base en lo anterior, es razonable esperar que la orientación de las NB's esté determinada por la nucleación y el crecimiento de las primeras capas de átomos en la capa semilla de ZnO, la mayor disposición de iones Zn^{2+} y O^{2-} en la superficie del sustrato da como resultado una morfología hexagonal definida (como se observa en la Figura 2). Esto se debe a que el crecimiento a lo largo del eje "c" o la dirección (001) es preferida en comparación con el crecimiento a lo largo de las otras direcciones (Angub, et al., 2018). La tendencia de la tasa de crecimiento (v) para las caras de las nanobarras es la siguiente: $v [001] > v [101] > v [100]$ (Gerbreders, et al., 2020), esta propiedad permite que se produzca el crecimiento preferencial a lo largo del eje "c". Para minimizar la energía superficial libre, las NB's tienden a crecer a lo largo de su eje "c" más rápidamente que a lo largo de sus planos, ya que las caras polares promueven interacciones electrostáticas entre las especies de iones en la solución (Mahmood, et. al, 2016).

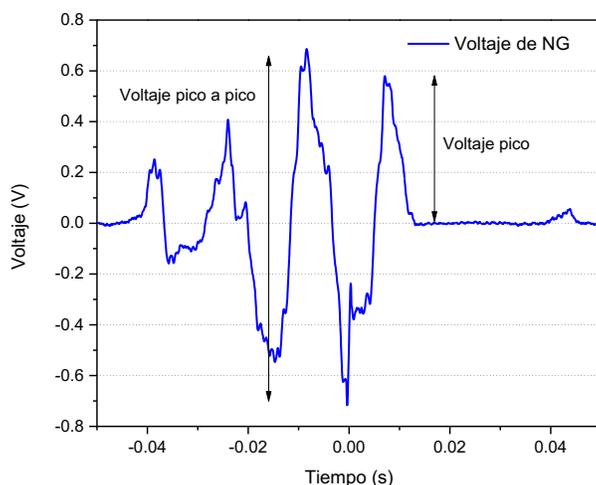
Nanogenerador piezoeléctrico de ZnO sobre sustrato flexible de ITO/PET y respuesta al estrés mecánico aplicado. En la Figura 3 se presenta el nanogenerador de ZnO y la conexión al osciloscopio Tektronik TDS 1012B, para medir la respuesta del NG se aplicó fuerza con el dedo índice, las investigaciones reportan que la fuerza promedio del dedo índice es de 32 ± 14 N, en hombres y mujeres con edad de 44 ± 11 años (Diong, et al., 2019).

Figura 3 Medición de voltaje realizada al NG de NB's de ZnO en respuesta a la aplicación de fuerza dactilar.



En la Figura 4 se observa un voltaje pico generado entre 0.2 y 0.6 V y un voltaje pico a pico máximo de 1.1 V, estos resultados son comparables a los presentados por otros investigadores (Justeau, et al., 2019; Rafique, et al., 2020).

Figura 4. Generación de voltaje entre 0.2 y 0.6 V por el efecto piezoeléctrico de las NB's de ZnO.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La síntesis por el método hidrotérmal de nanobarras de ZnO utilizando una capa semilla por centrifugado mostró buenos resultados. Las nanobarras de ZnO están orientadas perpendicularmente al sustrato, lo que se corrobora en la imagen en FESEM. La ruta de síntesis es un proceso reproducible a baja temperatura, capaz de modular el crecimiento de nanoestructuras de ZnO hacia una morfología deseada, controlando los parámetros de síntesis. Se obtuvo una respuesta de generación de voltaje pico a pico de 0.6 V, por lo que puede ser utilizado en aplicaciones de generación de energía al recolectar estrés mecánico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abubakar, S., Khalid, N., Abd Rahman, S. F., Tee, T. S., Hamidon, M. N., Talib, Z. A., Sagadevan, S., y Paiman, S., (2020). Fabrication and characterization of nanostructured zinc oxide on printed microcontact electrode for piezoelectric applications. Journal of Materials Research and Technology, 9(6), 15952–15961. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.11.038>

- Ali, F., Raza, W., Li, X., Gul, H., y Kim, K.-H., (2019).** *Piezoelectric Energy Harvesters for Biomedical Applications. Nano Energy.*
<https://doi.org/10.1016/J.NANOEN.2019.01.012>
- Al-ruqeishi, M. S., Mohiuddin, T., Al-habsi, B., Al-ruqeishi, F., Al-fahdi, A., y Al-khusaibi, A., (2017).** *Piezoelectric nanogenerator based on ZnO nanorods. Arabian Journal of Chemistry.* <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.12.010>
- Angub, M. C. M., Vergara, C. J. T., Husay, H. A. F., Salvador, A. A., Empizo, M. J. F., Kawano, K., Minami, Y., Shimizu, T., Sarukura, N., y Somintac, A. S., (2018).** *Hydrothermal growth of vertically aligned ZnO nanorods as potential scintillator materials for radiation detectors. Journal of Luminescence, 203, 427–435.*
<https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.05.062>
- Chelu, M., Stroescu, H., Anastasescu, M., Calderon-Moreno, J. M., Preda, S., Stoica, M., Fogarassy, Z., Petrik, P., Gheorghe, M., Parvulescu, C., Brasoveanu, C., Dinescu, A., Moldovan, C., y Gartner, M., (2020).** *High-quality PMMA/ZnO NWs piezoelectric coating on rigid and flexible metallic substrates. Applied Surface Science, 529(July), 147135.* <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147135>
- Costa, S. V., Azana, N. T., Shieh, P., y Mazon, T., (2018).** *Synthesis of ZnO rod arrays on aluminum recyclable paper and effect of the rod size on power density of eco-friendly nanogenerators. Ceramics International, 44(11), 12174–12179.*
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.03.272>
- Diong, J., Héroux, M. E., Gandevia, S. C., y Herbert, R. D., (2019).** *Minimal force transmission between human thumb and index finger muscles under passive conditions. PLoS ONE, 14(2), 1–11.* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212496>
- Gerbreders, V., Krasovska, M., Sledevskis, E., Gerbreders, A., Mihailova, I., Tamanis, E., y Ogurcovs, A., (2020).** *Hydrothermal synthesis of ZnO nanostructures with controllable morphology change. CrystEngComm, 22(8), 1346–1358.*
<https://doi.org/10.1039/c9ce01556f>
- Indira, S. S., Vaithilingam, C. A., Oruganti, K. S. P., Mohd, F., y Rahman, S., (2019).** *Nanogenerators as a sustainable power source: state of art, applications, and challenges. In Nanomaterials (Vol. 9, Issue 5).* <https://doi.org/10.3390/nano9050773>

- Justeau, C., Tlemceni, T. S., Poulin-Vittrant, G., Nadaud, K., y Alquier, D., (2019).** *A comparative study on the effects of Au, ZnO and AZO seed layers on the performance of ZnO nanowire-based piezoelectric nanogenerators.* *Materials*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/ma12162511>
- Lee, E., Park, J., Yim, M., Kim, Y., y Yoon, G., (2014).** *Flexible piezoelectric ZnO nanogenerator with silver-based electrode.* *2014 IEEE 9th Nanotechnology Materials and Devices Conference, NMDC 2014*, 2013, 96–99. <https://doi.org/10.1109/NMDC.2014.6997431>
- Li, Z., Zheng, Q., Wang, Z. L., y Li, Z., (2020).** *Nanogenerator-Based Self-Powered Sensors for Wearable and Implantable Electronics.* *Research*, 2020, 8710686. <https://doi.org/10.34133/2020/8710686>
- Mahmood, M. A., Jan, S., Shah, I. A., y Khan, I., (2016).** *Growth Parameters for Films of Hydrothermally Synthesized One-Dimensional Nanocrystals of Zinc Oxide.* *International Journal of Photoenergy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3153170>
- Olabi, A. G., (2017).** *Renewable energy and energy storage systems.* *Energy*, 136, 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.054>
- Rafique, S., Kasi, A. K., Kasi, J. K., Aminullah, Bokhari, M., y Shakoor, Z., (2020).** *Fabrication of silver-doped zinc oxide nanorods piezoelectric nanogenerator on cotton fabric to utilize and optimize the charging system.* *Nanomaterials and Nanotechnology*, 10, 1–12. <https://doi.org/10.1177/1847980419895741>
- Simfukwe, J., Mapasha, R. E., Braun, A., y Diale, M., (2017).** *Biopatterning of Keratinocytes in Aqueous Two-Phase Systems as a Potential Tool for Skin Tissue Engineering.* *MRS Advances*, 357(May), 1–8. <https://doi.org/10.1557/adv.2017>
- Thanh, N. T. K., Maclean, N., y Mahiddine, S., (2014).** *Mechanisms of nucleation and growth of nanoparticles in solution.* *Chemical Reviews*, 114(15), 7610–7630. <https://doi.org/10.1021/cr400544s>
- Wang, W., Ai, T., y Yu, Q., (2017).** *Electrical and photocatalytic properties of boron-doped ZnO nanostructure grown on PET – ITO flexible substrates by hydrothermal method.* *2017(February)*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep42615>
- Wang, Z. L., y Song, J., (2006).** *Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays.* *Science*, 312(5771), 242–246. <https://doi.org/10.1126/science.1124005>

Zeadally, S., Shaikh, F. K., Talpur, A., y Sheng, Q. Z., (2020). *Design architectures for energy harvesting in the Internet of Things. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 128(April), 109901. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109901>*

Zou, Y., Bo, L., y Li, Z., (2021). *Recent progress in human body energy harvesting for smart bioelectronic system. Fundamental Research, 1(3), 364–382. <https://doi.org/10.1016/J.FMRE.2021.05.002>*

***AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS Y
AHORRO DE ENERGÍA, SEGURIDAD
ALIMENTARIA Y AGRICULTURA
SOSTENIBLE***

DESARROLLO Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA FRITURA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA) CON SAZONADORES

Agustín Moreno Dzul, Katy Gómez Jiménez, Jonathan Barrón Ruiz,
Franco Lucio Ruiz Santiago, Josafat Alberto Hernández Becerra

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta*) es una raíz empleada generalmente para la elaboración de platillos típicos de la región sureste del país, elaboración de harinas, en la repostería. Su consumo conlleva un gran aporte nutricional para el organismo. Ayuda a regular la frecuencia cardíaca y la presión arterial. El consumo de frituras en la actualidad ha aumentado, así mismo la presencia de estos productos en el mercado se ha diversificado y se pueden encontrar ahora frituras elaboradas con frutas y vegetales cuyas combinaciones enriquecen el paladar de los consumidores. En este trabajo se evaluó sensorialmente tres propuestas de frituras de yuca con sazónadores. Se diseñaron 3 prototipos con sazónadores variados. Los resultados muestran que estadísticamente se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las tres formulaciones, la formulación FG88 presentó el mejor nivel de agrado con 80% describiendo a este producto como agradable al paladar, de picor suave, de buena textura y que puede ser utilizado para acompañar en su momento cualquier platillo.

Palabras Clave: Frituras, Yuca, Evaluación sensorial.

Introducción

La yuca es una raíz. Está compuesta por un 90% de almidón, pocas grasas y proteínas. La yuca contiene minerales como el zinc, magnesio y cobre. También es una buena fuente de potasio, el cual es utilizado para regular la presión arterial y la frecuencia cardíaca. Naturalmente, es una materia prima con una cantidad inferior de gluten en comparación con otras hortalizas. Este tubérculo se produce en México en los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche y Yucatán. Aunque la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural

Pesca y Alimentación [SAGARPA] ubica al estado de Tabasco como el mayor productor nacional con 20,127 toneladas en 2020, es cierto que su cultivo es de traspatio y de autoconsumo ya que no existen alternativas de uso que estimulen su comercialización (SIAP SAGARPA,2020; López et al, 2021)

DESARROLLO

La yuca es considerada como la fuente de almidón más barata, por lo que se usa para panadería, pastelería y frituras. La elaboración de productos a través de la harina de yuca es una alternativa ya sea en la alimentación humana, en la industria o para la elaboración de forrajes para ganado, entre otros. La Agencia de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] la ha ubicado en el cuarto cultivo más importante en el mundo, sólo superado por el maíz, el arroz y el trigo (Aristizábal, y Sánchez, 2007). Con ella se pueden preparar diversos productos entre los que destacan jarabes concentrados, harina para preparar atole, postres, harina para preparar hot cakes y frituras. Respecto a este último producto existen en el mercado diferentes marcas, todas elaboradas a partir de harina de trigo y maíz ya sea refinada o integral (Peralta, y Rico, 2020)

Las frituras se elaboran comercialmente con diversas harinas de trigo o de maíz, aunque en la actualidad han aparecido y tienen gran aceptación algunas frituras que incorporan ingredientes como vegetales entre los que destacan cebolla, chile, jitomate, cilantro, perejil entre otros. Las áreas de investigación y desarrollo de las empresas de este rubro han trabajado mucho para crear productos que sean dignos representantes de una buena fritura y para muchos consumidores, estas lo han logrado. El consumo no solo ha aumentado en México, sino que a nivel mundial existe una tendencia a preparar platos con sabores diferentes, sencillos y sobre todo en corto tiempo y de contenido saludable para el consumidor. Se reporta un crecimiento de más del 40% en ventas en los últimos 5 años y el consumo per cápita de 2.5 a 2.8 kg en el último año. Las frituras favoritas de los compradores nacionales son las picantes. Cuatro de cada 10 piezas se compran en fin de semana, sobre todo en domingo, siendo las tiendas de autoservicios, bodegas y tiendas de la esquina los principales puntos de venta (Pérez, 2021)

Para este proyecto se elaboró una fritura sazónada de yuca, una materia prima diferente a lo tradicional, evaluarla sensorialmente y proponer una alternativa diferente, además de incentivar aún más el cultivo de esta especie.

MÉTODO

La metodología empleada para este proyecto fue la siguiente:

Selección del producto a desarrollar.

Esta etapa consistió en seleccionar un producto innovador por medio del uso de la yuca como materia prima.

Elaboración de prototipos.

En esta parte del proceso, se elaboraron 3 prototipos distintos, inspirado a partir de las tradicionales frituras de papa.

Evaluación sensorial.

Se utilizó un panel de 30 jueces no entrenados para la evaluación sensorial, esta se realizó en la Universidad Tecnológica de Tabasco en el laboratorio de análisis sensorial. Se utilizó una prueba de aceptación a través de una escala hedónica de cinco puntos que va desde me gusta mucho (5 puntos), me gusta poco (4 puntos), ni me gusta ni me disgusta (3 puntos), me disgusta poco (2 puntos) y me disgusta mucho (1 punto). (Pedrero y Pangborn, 1989). Posteriormente, se le solicitó al juez señalar la formulación en específico de mayor agrado. Las muestras se presentaron en charolas pequeñas desechables, junto a botellas con agua, con códigos aleatorios, se distribuyeron de manera sin secuencia para evitar que el consumidor asocie una muestra con la otra, y así poder evitar confusión en los sabores que percibe el consumidor. Después de la ingesta de cada muestra, el consumidor bebió agua para enjuagar su paladar y evitar contaminación entre muestras.

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el software de Minitab 2017.

RESULTADOS

Selección del producto

El producto se elaboró con la finalidad de darle un mejor uso a la materia prima ya mencionada, este producto tiene la finalidad de entrar al mercado, entre las frituras de marcas ya reconocidas, como un producto innovador, que capte la atención del consumidor, y que se dé cuenta de los múltiples usos de la yuca.

Elaboración de prototipos o desarrollo de la formulación

Posteriormente de la elaboración de la fórmula original, se crearon otras 2 formulaciones adicionales, cada una con mayor aceptación que la formulación elaborada y catada previamente. Dichas formulaciones se mostrarán en la tabla 1.

Tabla 1. Formulaciones diseñadas para la fritura sazonada de yuca

INGREDIENTES	DM75	XK90	FG88
Yuca	95.24%	95.46%	93.023%
Polvo sazonador	4.76%	3.82%	5.81%
Sal	0%	0.72%	1.16%

El diagrama del proceso de elaboración de las frituras de yuca se ilustra en la figura 1.

Figura 1. Proceso de elaboración de la fritura sazonada de yuca, elaboración propia



Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial realizada muestran que en la escala hedónica (figura 2) la formulación con mayor nivel de agrado fue la formulación FG88 con una puntuación de 4.1 que en la escala hedónica significa que va desde “me gusta poco a me gusta mucho”, mientras que la formulación XK90 solo obtuvo una puntuación de 2 que en la escala hedónica significa “me disgusta mucho a me disgusta poco”, por último la

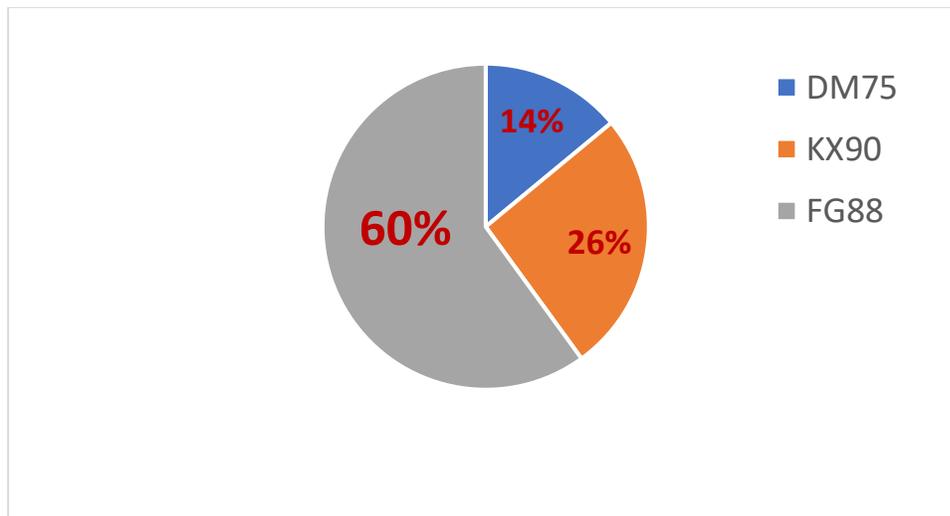
formulación DM75 solo alcanzó una puntuación de 1,6 que significa también “me disgusta mucho a me disgusta poco”.

Figura 2. Resultados en la escala hedónica de las formulaciones



Respecto al último cuestionamiento, el 60% de los jueces mencionaron que preferían la fritura FG88 por sus características de sabor, textura y color, mientras que solo el 26% prefería el XK90 y solo el 14% el DM75.

Figura 3. Nivel de aceptación global de cada formulación



Los resultados estadísticos (ANOVA) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las formulaciones evaluadas.

Con estos datos, se identificó que el prototipo FG88 fue aquel que tuvo una mayor aceptación, siendo la formulación final y oficial hasta el momento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al concluir este trabajo, fue posible elaborar una fritura de yuca sazónada con características sensoriales aceptables con un alto nivel de aceptación. Además de que es un producto de alto valor nutritivo. Con los niveles de aprobación, se puede decir que existe una gran posibilidad de éxito al introducir en un futuro este producto al mercado generando una empresa local que permita generar empleos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizábal, J., y Sánchez, T., (2007)** *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Editado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.* <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- López Montes, A. J., Martínez Reina, A. M., Martínez Atencia, J. del C., García Peña, J. A., Pérez Cantero, S. P., Torres, J. C., (2021).** *Investigación participativa a través de modelos integrados de producción: un estudio de caso en yuca (Manihot esculenta Crantz).* *Ciencia y Agricultura*, 18(1),46-62. ISSN: 0122-8420. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560067112004>
- Pedrero, D. L. y Pangborn M. R., (1989).** “Evaluación sensorial de alimentos. Métodos analíticos.” México: Editorial Alhambra Mexicana. ISBN 968 444 0936
- Peralta Miranda, P. E., y Rico Fontalvo, H. M., (2020).** *Comportamiento del consumidor frente a productos derivados de la yuca.* *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 30(75),9-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81862627002>
- Pérez Souza, V., (2021).** *Botanas un negocio que va en crecimiento.* Portal Ligiscomex.com México. <https://www.legiscomex.com/Documentos/botanas-mexico-virginia-perez-actualizacion>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola por estado. Secretaría de Agricultura ganadería desarrollo Rural pesca y alimentación, (2020).** México. Dirección URL: <https://www.gob.mx/siap/articulos/yuca-mandioca-og-uacamote-como-lo-llaman-donde>

DESARROLLO Y EVALUACION SENSORIAL DE UNA TOSTADA HORNEADA A BASE DE HARINA DE MAÍZ (ZEA MAYS) Y HOJAS DE CHAYA (CNIDOSCOLUS ACONITIFOLIUS)

Irma López Álvarez, Aline Reyes Castellanos, Franco Lucio Ruíz
Santiago, Rafael García Jiménez

RESUMEN

La chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), también conocida como la espinaca maya, es una planta nativa del estado de Tabasco, México, proporciona enormes ventajas al organismo del ser humano porque contiene una gran cantidad de vitaminas y minerales. Por otro lado, la tortilla de maíz es parte de la identidad culinaria de los mexicanos; es un componente básico de los antojitos, acompaña a casi todos los platillos, se puede ver en distintas presentaciones además de la conocida, se puede encontrar frita u horneada, ya sea como tostadas o totopos. Para proponer una alternativa diferente a la tortilla, se propuso hacer una tostada horneada con chaya, para darle un toque diferente y una oportunidad a los productos saludables que actualmente son tendencia en el mercado. Se diseñaron tres prototipos utilizando combinaciones con diversos ingredientes usando hojas de chaya para darle sabor y color. Estos prototipos fueron evaluados sensorialmente a través de una prueba hedónica y una prueba de aceptación global. Se determinó que el prototipo CK15, con 0.84% de sal presentó el mejor nivel de agrado con un 52%.

Palabras Clave: Tostada horneada, Chaya, Maíz

Introducción

El maíz (*Zea mays*), alimento base en la mesa mexicana, herencia de nuestros antepasados y representante de nuestra cultura culinaria, ha sido siempre una fuente inagotable para la realización de diversos platillos y productos. Su importancia y su utilidad

no tienen solo que ver con su versatilidad, sino también, con su valor nutricional como vitaminas, minerales esenciales, fibra y antioxidantes (Luna Mena, et al., 2015)

Por otra parte, la chaya es una planta que crece en lugares calientes de México, como nuestro estado Tabasco y la península de Yucatán. La chaya es rica en hierro y proteína de buena calidad, pero también contiene fibra cruda, calcio, potasio, vitaminas A y C, además de compuestos carotenoides, minerales magnesio, sodio, cobre y zinc, esenciales para las funciones cerebrales y el crecimiento (Herrera, 2019).

DESARROLLO

La chaya y las propiedades nutricionales de sus hojas son superiores a las de la espinaca, amaranto, col o lechuga; y su consumo más común consiste en degustar sus hojas crudas en ensalada, aunque también pueden ser ingeridas después de una ligera cocción; sin embargo, su consumo más común, para propósitos medicinales es en forma de té, para lo que se utilizan, principalmente, sus hojas, aunque también se puede preparar infusiones con tallos y raíz (Godínez-Santillan, et al., 2019; Pamplona, 2013). Al ser una planta poco conocida debido a que sólo se encuentra en nuestra región, no es aprovechada correctamente, es por ello que con nuestro producto se pretende dar uso favorable a esta planta, añadiendo sus nutrientes a una tostada.

De acuerdo con sus características, propiedades y a una posible diversificación en su uso, para este proyecto se utilizó la chaya para elaborar una tostada horneada de harina de maíz con chaya, con la finalidad de acompañar diversas preparaciones gastronómicas.

En el mercado actual, los consumidores están abiertos a probar nuevas formulaciones de distintos productos, de igual forma siempre están en la búsqueda de productos catalogados como “saludables”, “de dieta”, “de bajas calorías”. Es por ello que se decidió usar un producto de consumo nacional como la tostada y añadirle la chaya, que es una planta que no tiene un aprovechamiento óptimo para realizar una tostada horneada.

Para este proyecto se desarrolló una tostada horneada a través de una mezcla de harina maíz y chaya, con la finalidad de ofrecer un producto innovador de características sensoriales aceptables, de bajo costo y que en un futuro pueda ser comercializado.

MÉTODO

La metodología empleada para este proyecto fue la siguiente:

Selección del producto a desarrollar.

Esta etapa consistió en seleccionar un producto innovador utilizando harina de maíz y chaya como materia prima.

Elaboración de prototipos.

En esta etapa se diseñaron diferentes prototipos o formulaciones, partiendo de una fórmula base desarrollada artesanalmente como receta familiar.

Evaluación sensorial

Los prototipos fueron evaluados sensorialmente a través de una prueba de aceptación, para seleccionar la formulación más agradable a los jueces. Se utilizaron para ello un panel de 21 jueces no entrenados. Las formulaciones fueron sometidas a una prueba, donde se utilizó una escala hedónica de cinco puntos que va desde me gusta mucho (5 puntos), me gusta (4 puntos), ni me gusta ni me disgusta (3 puntos), me disgusta (2 puntos) y me disgusta mucho (1 punto), esto de acuerdo con la metodología descrita por Pedrero, y Pangborn, (1989). Además, se solicitó a los jueces su preferencia hacia una formulación en específico. Las muestras fueron presentadas a los consumidores en platos desechables codificados con números aleatorios, se distribuyeron de manera azarosa para disminuir el error sistemático y otros tipos de errores que pueden influir en la respuesta del consumidor. Entre las muestras, cada consumidor debía beber agua natural para limpiar su paladar.

RESULTADOS

Selección del producto

Este producto fue diseñado y seleccionado a partir de la idea de la utilización de la chaya con la finalidad de tener un alimento de consumo común que acompaña a muchos platillos, la tortilla, pero hecha una tostada horneada.

Elaboración de prototipos o desarrollo de la formulación

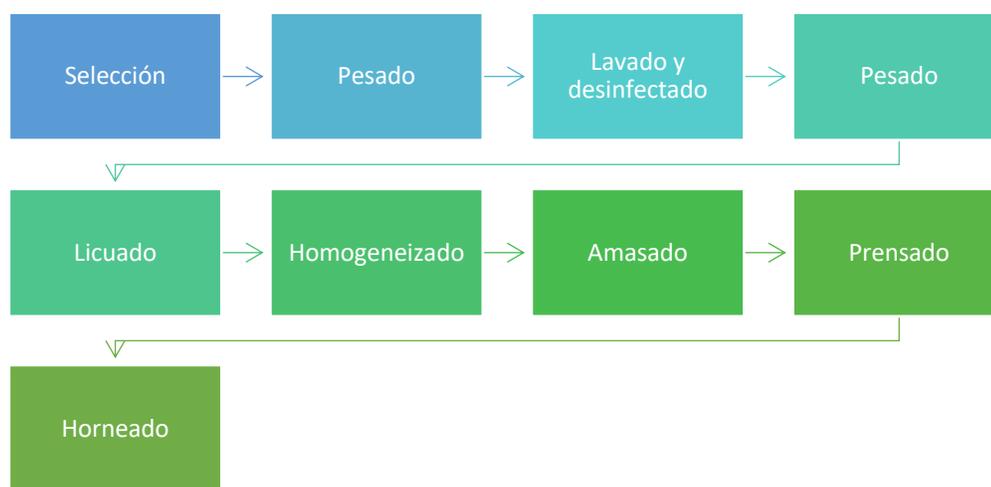
Una vez obtenida la fórmula base, se diseñaron tres prototipos utilizando diferentes concentraciones de la cantidad de sal. Los porcentajes utilizados se muestran en la tabla

Tabla 1. Formulaciones de tostada horneada con chaya.

Ingredientes	Formulaciones		
	AR 81 %	MD 08 %	CK 15 %
Harina de maíz	42.85	42.73	42.49
Chaya	28.57	28.49	28.32
Agua	28.57	28.49	28.32
Sal	0	0.28	0.84

El proceso de elaboración de la tostada horneada con chaya se muestra en la siguiente ilustración.

Figura 1. Proceso de elaboración de tostadas horneadas.



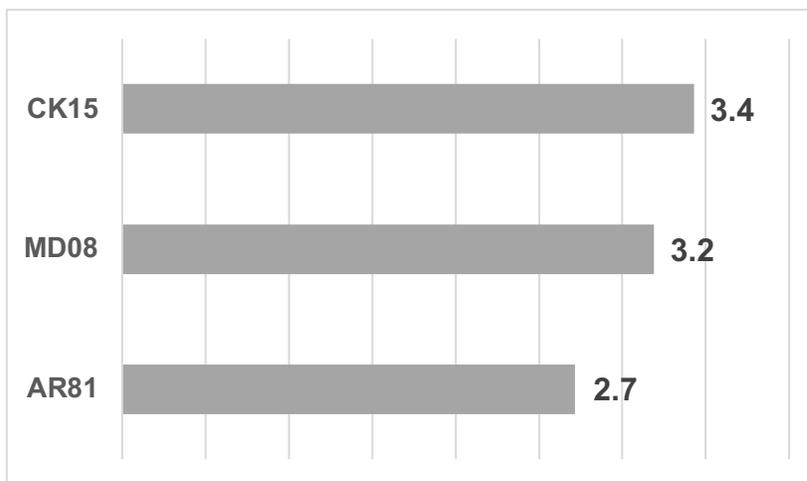
Elaboración propia

Evaluación sensorial

Como resultado de la evaluación sensorial, los resultados muestran que el nivel de agrado de acuerdo con la escala hedónica fue para CK 15 y MD08 presentaron una calificación de 3.4 y 3.2 que en la escala hedónica corresponde a “ni me gusta ni me disgusta a me gusta”, mientras que la formulación AR81 presentó 2.7 que en la escala hedónica

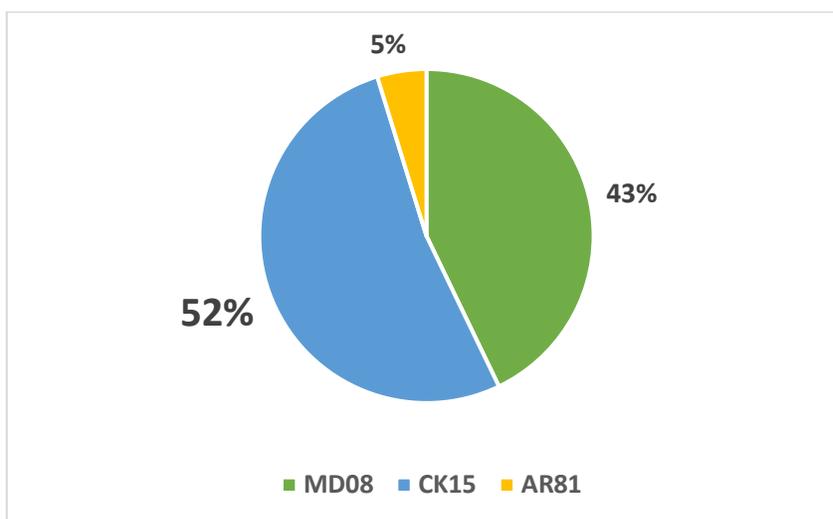
corresponde a “no me gusta a ni me disgusta a me gusta”. Todo esto se observa en la figura 2.

Figura 2. Grado de aceptación de cada formulación en la escala hedónica



Después de cuestionar a los jueces cuál de las formulaciones le parecía mejor, se observó que la formulación CK15 con una mayor cantidad de sal, presentó el mayor porcentaje de aceptación (figura 3), por lo que se seleccionó esta fórmula como la definitiva. Destacan también que los atributos más agradables de dicha formulación fueron su sabor agradable y su textura crujiente.

Figura 3. Porcentaje de aceptación global de cada prototipo



Costo

Tomando en cuenta que por cada kilogramo de harina de maíz se hace un gasto de \$82.00 y se elaboran alrededor de 50 tostadas. Aunque analizando otros aspectos como mano de obra, costos de servicios, entre otros, el precio de venta sería de \$22.00 por una presentación de 10 tostadas. Considerando además que productos similares presentan un precio de venta de \$28, el precio obtenido para esta tostada es más económico y accesible a la población.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al concluir con este trabajo, fue posible elaborar una tostada horneada utilizando como materia principal la chaya, con un alto nivel de aceptabilidad. Además de que es un producto de alto valor nutritivo. Sus atributos sensoriales señalan que es una propuesta agradable además que su consumo ayudará a mejorar su nivel nutricional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Godínez-Santillán, R. I., Chávez-Servín, J. L., García-Gasca, T., y Guzmán-Maldonado, Salvador Horacio, (2019).** *Phenolic characterization and antioxidant capacity of alcoholic extracts from raw and boiled leaves of Cnidoscolus aconitifolius (Euphorbiaceae). Acta Botánica Mexicana, (126), [fecha de Consulta 2 de agosto de 2022]. ISSN: 0187-7151. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57469756057>*
- Herrera, J., (2019).** “Chaya, usos y beneficios” de CONACYT. Recuperado el 14 de marzo de 2022. <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=69> .
- Luna Mena, B.M., y Altamirano Cárdenas, J. R., (2015).** *Maíz transgénico: ¿Beneficio para quién? Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional [en línea]. 2015, 23(45), 141-161 [fecha de Consulta 10 de junio de 2022]. ISSN. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41733376006>*
- Pamplona, J., (2013).** *"El Poder Medicinal De Los Alimentos" (págs. 224-225). Madrid, España.: Safeliz. S. L*
- Pedrero, D. L. y Pangborn M. R., (1989).** “Evaluación sensorial de alimentos. Métodos analíticos.” México: Editorial Alhambra Mexicana. ISBN 968 444 0936

DETERMINACION DE METALES PESADOS (Pb, Hg, Cd Y As) EN LA CARNE DEL HYPOSTOMUS PLECOSTOMUS (PEZ DIABLO), LOCALIZADO EN AGUA DULCE DE LAS CUATRO REGIONES (CENTRO, CHONTALPA, RIOS Y SIERRA) DEL ESTADO DE TABASCO

Roberto Rocher Córdova, Rafael García Jiménez, Antonio Valadez
Villareal, Jesús Arturo Hernández Ríos, Roxana Ruth Gómez Reyes, Franco
Lucio Ruíz Santiago

RESUMEN

El objetivo del proyecto fue cuantificar metales pesados Pb, Hg, Cd y As en carne del *Plecostomus* sp; que se localiza en las cuatro regiones de Tabasco Centro, Chontalpa, Sierra y Ríos, realizando una comparación con las normas vigente Nom-242-SSA1-2009 y Codex Alimentariux. Las regiones son partes de los Ríos Grijalva (Centro, Ríos, sierra), Usumacinta, Carrizal (Centro y Chontalpa). La cuantificación se realizó con espectrometría de absorción atómica con horno de grafito y los resultados obtenidos en mg/kg, son: I. Río arroyo Polo: Pb = 0.0.1745, Hg = 0.8596, Cd = 0.0232, As = 0.6584; II. Rio Tamulté de las Sabanas: Pb = 0.7926, Hg = 0.9298, Cd = 0.0602, As = 0.7609; III. Río Seco: Pb = 0.7509, Hg = 0.8757, Cd = 0.2573, As = 0.6978, IV. Bayo: Pb = 0.7667, Hg = 0.8574, Cd = 0.2990, As = 0.5519; y son los promedios de tres repeticiones y aplicación de Estadística descriptiva. La comparación con la NOM, indican que los promedios de las cuatro regiones para cada metal, es un aumento del 24.24% Pb, y una disminución del 11.94% Hg, 68.02% Cd y 99.17% As. La comparación con el Codex Alimentariux, se encontró que un metal Pb está muy por encima 521.2% más y que tres metales, están por debajo: Hg 11.94% menos, Cd 20.05% menos y As 66.63%, abajo. Se concluye con los porcentajes, que el 75% Hg, Cd y As de los metales en la carne del *Plecostomus* sp, están de acuerdo a la NOM 242-SSA1-

2009. Productos y servicios de la pesca. Fresco, congelado y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba y Codex Stan 193-1995 y un 25% (Pb), está fuera del estándar, el Codex alimentariux: Código de práctica sobre medidas aplicables en el origen, con sustancias químicas, para reducir la contaminación de los alimentos.

Palabras Clave: Plecostomus sp, Metales pesados, Normatividad.

Introducción

Tabasco tiene el 53% de los humedales de agua dulce del país cuenta con 151 lagunas aproximadamente que dentro de la cuenca Grijalva- Usumacinta forman 41% de la superficie global. La Pesca es una actividad económica y social importante para el estado Hoy en día existen cerca de 13,000 personas dedicadas a esta actividad, por ello el gobierno del estado ha apoyado decididamente este importante medio de vida de los tabasqueños. En el estado de Tabasco en el año del 2004, arriba a los sistemas lagunares de aguas interiores, la especie *Hypostomus plecostomus*, originario de las amazonas, trayendo como consecuencia su reproducción excesiva, desplazando a algunas especies de mojarra, ya que este organismo su medio de alimentación es por succión, los cuales, a encontrarse algunos nidos de huevecillos, estos eran consumidos por el *H. plecostomus*. Los metales pesados en el medio ambiente acuático pueden afectar a los ecosistemas acuáticos y suponen riesgos para los peces consumidores y consecuentemente, para los otros niveles de las cadenas tróficas. Los metales pesados pueden entrar a los ecosistemas acuáticos fuentes naturales y antropogénicas, incluidas las aguas residuales domésticas o industriales, lixiviación de vertederos y depósitos atmosféricos (Forstner, 1983). Se requieren metales pesados como el hierro y el manganeso para las actividades metabólicas de los organismos, pero algunos otros elementos como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn, presentan efectos de toxicidad en organismos acuáticos (Mason, 1991). En los ecosistemas acuáticos, los metales pesados han recibido una atención considerable debido a su toxicidad y acumulación en la biota y peces (Senthilkumar, et al, 2007). Los peces son parte importante de la dieta humana, debido a su alto contenido de proteína, baja en grasas saturadas y ácidos grasos omega suficientes que son conocidos para apoyar la buena salud, por lo tanto, diversos estudios se han adoptado en todo el mundo sobre la contaminación de diferentes especies de peces por metales pesados.

El tejido muscular de los peces es lo más utilizado para el análisis, ya que es un importante tejido para el almacenamiento del metal y es la principal parte comestible del pescado (Bhattacharyya, et al, 2010). Una de las problemáticas ecológicas suscitadas en la región de los Ríos en Tabasco; que comprende los municipios de Tenosique, Balancán, Emiliano Zapata, Jonuta, en el estado de Tabasco, México es la proliferación del pez armado Sudamericano *Pterygoplichthys sp*, conocido comúnmente como **pez diablo**. Debido a su gran capacidad reproductiva, se considera una amenaza para las pesquerías tradicionales de especies nativas de la región (Delgadillo, 2008), así mismo la problemática ambiental, económica y social generada por este organismo, es alta y ha incrementado, con impactos identificados como, degradación del hábitat, desplazamiento de especies nativas, deterioro de la calidad del agua, introducción de enfermedades, destrucción de márgenes y ruptura de redes de pesca, entre otros (Everardo, et al, 2013). Con la finalidad de aprovechar la presencia de esta especie invasora, la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA), promueve la captura del pez diablo para el consumo humano o su utilización comercial en diversos sectores productivos del país. Se lleva a cabo estrategias con los sectores público y privado para explotar este pez invasivo, cuya carne presenta un alto valor nutricional, rico en aceite omega 3; se puede consumir en ceviche, frito, entomatado, asado, empapelado o en caldo. Transformado en harina, el pez diablo presenta alto contenido de proteína de alta calidad biológica, por lo que puede ser utilizada como ingrediente proteico en la formulación de dietas acuícolas (SAGARPA, 2011). En otras regiones de México, con las problemáticas que la presencia del pez diablo en embalses acuáticos implica, se han adoptado diversas alternativas de aprovechamiento. En la presa el Infiernillo, en el estado de Michoacán, se le captura y transforma en harina de pescado para su uso como fertilizante agrícola y como ingrediente de alimentos para ganado (Mendoza, et al, 2009). El consumo humano como complemento alimenticio es posible, aunque requiere un estudio más a fondo, ya que ciertas especies del pez diablo, tienden a acumular metales pesados, lo que ha desalentado su consumo (Cano et al, 2012). Una de las alternativas viables de aprovechamiento de este pez, es la utilización del músculo como alimento para consumo humano, por su alto contenido proteico. La harina de pescado es una fuente de energía concentrada, con un 70 a 80% del producto en forma de proteína y grasa digerible, su contenido de energía es mayor que muchas otras proteínas. La harina de esta especie tiene un contenido relativamente alto de minerales como

fosforo, las vitaminas, también están presentes en niveles altos, como el complejo de vitamina B incluyendo la colina, la vitamina B12, así como A y D (Sosa, y Vásquez, 2011). Hoy en día, la carne del pez diablo, es utilizada como un recurso alimentario tanto para consumo humano como para la elaboración de harinas, que pueden agregarse como aditamento nutritivo, a los alimentos para animales, mediante procesos biotecnológicos. Por otra parte, se han realizados estudios en el pez diablo relacionados a aspectos de distribución geográfica y taxonomía. Sin embargo, con respecto a investigaciones que evalúen el contenido de elementos minerales y metales pesados en carne de pez diablo, en la Cuenca del Usumacinta y las regiones de Tabasco, se cuenta con poca investigación. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue realizar estudios sobre metales pesados en la carne del pez diablo (*Plecostomus sp*), con la finalidad de determinar si se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad. Cabe señalar que el estudio se realizó en las cuatro regiones de Tabasco, donde se incluye la Cuenca del Usumacinta-Grijalva-Carrizal.

DESARROLLO

Para el desarrollo del presente proyecto, este fue dividido en cinco etapas:

- I. Revisión bibliográfica
- II. Resultados de la zona Centro.
- III. Resultados de la zona Chontalpa.
- IV. Resultados de la zona Sierra.
- V. Resultados de la zona de los Ríos.
- VI. Redacción e impresión del reporte técnico

En la revisión bibliográfica, se consultaron libros, proyectos, artículos y revistas científicas; obteniendo como resultado el Marco teórico del proyecto, integrando el siguiente índice:

1. Introducción
2. Generalidades del *Plecostomus sp*
3. Clasificación taxonómica
4. Alimentación
5. Hábitat
6. Condiciones ambientales

7. Reproducción

8. Comportamiento

9. Importancia

El desarrollo de las partes II a la V, que representan la parte operativa práctica, que son partes del método y resultados para cada región de Tabasco; se explican en los apartados correspondientes del extenso del presente proyecto. La última parte (VI redacción e impresión del reporte técnico).

MÉTODO

Este trabajo se realizó en el 2022 como un proyecto interno en la Universidad Tecnológica de Tabasco en coordinación con la División de Procesos Industriales. La metodología dividió en las siguientes partes:

a). Lugar

Este proyecto de investigación se realizó en la planta piloto II de alimentos de la División Académica Procesos Industriales de la Universidad Tecnológica de Tabasco, que se localiza en la carretera Villahermosa-Teapa, Km.14.6 s/n; Parrilla II, en el municipio del Centro, Tabasco, México y el laboratorio de biotecnología Becar S.A. de C.V ubicado en Zapopan, Jal; México.

b). Materia prima

Los organismos se extrajeron de los ríos siguientes:

Río de Tamulté de las Sabanas; río seco de Puerto Ceiba, Paraíso; arroyo Polo de Centla y río Bayo de Cd Pemex. Macuspana; Tabasco. Se utilizó el arte y método de pesca atarraya (4 a 5" de maya), se capturaron cinco pescados en cada región, se capturaron cinco piezas en cada región y se transportaron enhielados (4 a 6 °C) hasta la planta piloto de la UTTAB, donde se realizó su procesamiento.

c). Obtención de la harina

Los *plecostomus* sp capturados (20 piezas), se les realizó una biometría: Talla (39 cm), peso (343 gr), en promedio (figura 1). La obtención de la harina se realizó de acuerdo con la (NMX-FF-032-SCFI-2001). A partir de las piezas se obtuvieron los filetes sin piel, se les practicó un tratamiento térmicos (90°C por 10 minutos), para después realizar un prensado (obtención de agua de cola) y posteriormente una deshidratación (70°C por 48 horas) en una

estufa de secado, una molienda fina (molino eléctrico pulvex) y por último un tamizado fino (malla No 40), para obtener la harina como producto final y por último se prepararon 4 muestras de harina de 200 gramos cada una y se enviaron al laboratorio para sus análisis.

Figura 1. Ejemplar de pez diablo (*Plecostomus sp*), capturados.



d). Determinación de metales pesados

La determinación en harina de pez diablo de los metales pesados (Pb, Hg, Cd y As), se realizó con tres repeticiones, aplicando una espectrometría de absorción atómica con horno de grafito. Se prepararon las curvas de calibración, utilizando estándares certificados de acuerdo a las especificaciones señaladas en el manual del equipo de absorción atómica; para cada uno de los elementos.

e). Análisis Estadístico

Los resultados, representan los promedios de tres repeticiones y aplicación de Estadística descriptiva, así como de matemáticas para los porcentajes.

RESULTADOS

En la tabla 2, se muestran los resultados con tres repeticiones y en la tabla 3 los promedios de las repeticiones.

METALES PESADOS(mg/kg)		REPETICIONES											
MUNICIPIO	RIO	Pb			Hg			Cd			As		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Centla	Arroyo Polo	0.1815	0.1722	0.1699	0.7347	0.9844	0.8596	0.038	0.0083	0.0232	0.3258	0.9844	0.6551
Centro	Tamulte de las Sabanas	0.8822	0.7436	0.752	0.8742	0.9984	0.9169	0.1076	0.0189	0.0542	0.6251	0.8942	0.7633
Paraiso	Seco	0.7815	0.7722	0.699	0.862	0.976	0.789	0.283	0.3	0.189	0.7253	0.652	0.716
Macuspana	Bayo	0.679	0.769	0.852	0.8923	0.799	0.881	0.31	0.299	0.288	0.5587	0.4721	0.625

Tabla 3. Resultados promedios de repeticiones, por zona en mg/kg

Municipio	Río	Pb	Hg	Cd	As
Centla	Arroyo Polo	0.1745	0.8596	0.0232	0.6584
Centro	Tamulté de las sabanas	0.7926	0.9298	0.0602	0.7609
Paraiso	Rio seco	0.7509	0.8757	0.2573	0.6978
Macuspana	Rio Bayo	0.7667	0.8574	0.2990	0.5519

En la tabla 4, se muestran los resultados promedios comparados con la normatividad, la diferencias y si están fuera o dentro de las Normas.

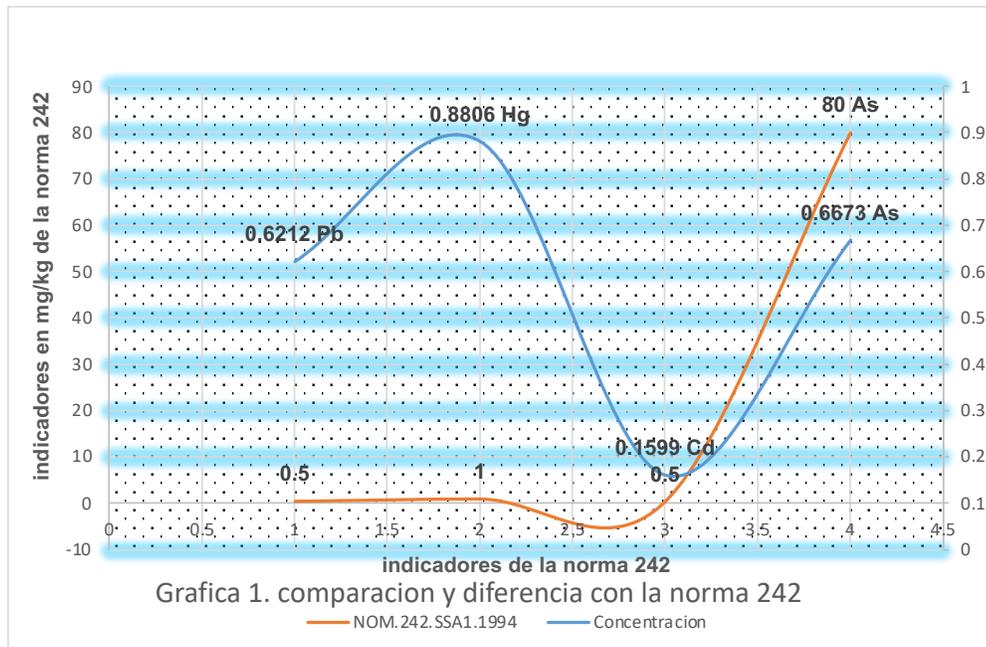
Tabla 4. Comparación de los resultados promedios, con las Normas (NOM y CODEX)

No/metal	Pb (mg/kg)	NOM (mg/kg)	Diferencia	Codex	Diferencia
1	0.6212	0.5 Mg/km	0.1212 arriba	0.1	0.5212 arriba
	Hg				
2	0.8866	1.0	0.1134 abajo	1.0	0.1143 abajo
	Cd				

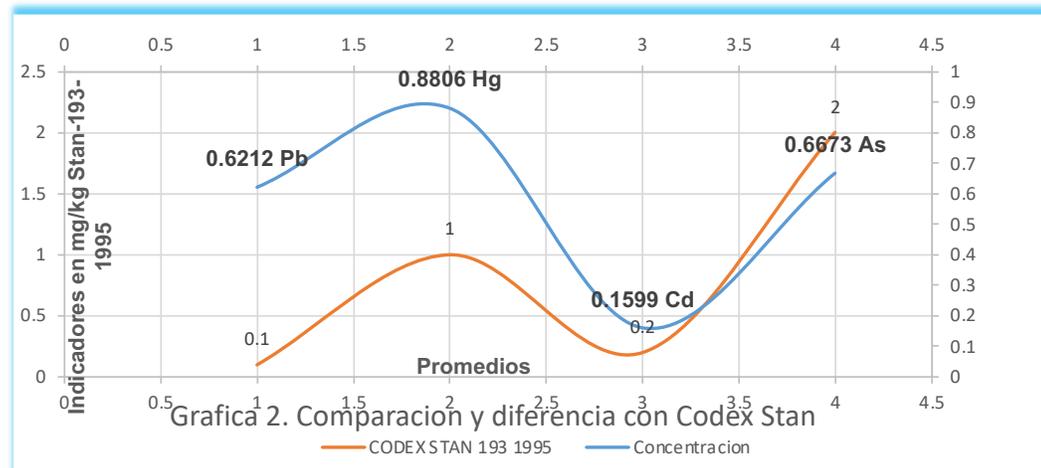
3	0.1599	0.5	0.3401 abajo	0.2	0.0401 abajo
	As				
4	0.6673	80	79.33 abajo	2.0	1.3327 abajo

Nota: los números en **rojo**, están fuera de las dos Normas y los **azules**, están dentro de normatividad.

En la gráfica 1, se muestra la comparación de los resultados promedios con la NOM-242-SSA1-1994



En la gráfica 1, podemos observar el Pb es el metal pesado que se encuentra fuera de la norma correspondiente (24.24% arriba), lo cual nos indica que es un riesgo consumir carne de pez diablo, que se capturen en los Ríos: arroyo Polo (Centla), Tamulté de las Sabanas (Centro), Rio Seco (Paraíso) y rio Bayo (Macuspana), en cuanto al metal Pb. Sin embargo, no representa riesgo alguno consumir pez diablo en cuanto a los metales pesados (Hg, Cd y As; 11.94, 68.02 y 99.17% abajo, respectivamente), que se capturen en las zonas mencionadas y la controversia es que al consumir la carne del *Plecostomus sp*, también se corre el riesgo de consumir el Pb, que se encuentra por encima de la normatividad.



En cuanto a la gráfica 2, se puede decir que el Pb (está por encima del Codex 521.2%), si representa un riesgo muy alto el consumir carne de pez diablo, que se capturen en las zonas de Tabasco mencionadas, en cuanto a este metal (Pb). Por otra parte, en cuanto a los metales (Hg, Cd y As, 11.94, 20.05 y 66.63 % abajo del Codex-193-1995, respectivamente), no representan ningún riesgo, sin embargo, persiste la controversia de que al consumir la carne del *Plecostomus sp*, también se corre el riesgo de consumir el Pb, que se encuentra por encima del Codex.

En otro orden de ideas, en el proyecto de investigación “Contenido de metales pesados en músculo de pez diablo *Pterygoplichthys pardalis*” (Maldonado Enríquez, et.al, 2015). El objetivo del trabajo fue determinar el contenido de metales pesados en harina del músculo de *Pterygoplichthys pardalis* capturados en el río Usumacinta (Chaculjí, El Recreo y Pino Suárez), Tabasco, México; no incluyeron al Pb (solo Hg, Cd y As), aunque la comparación fue con el estándar Guía FAO/OMS, sus hallazgos fueron que la harina del musculo del pez diablo, muestreado en tres sitios del rio Usumacinta, no puede ser perjudicial para los consumidores, ya que los valores observados de metales pesados estuvieron por debajo de los límites permisibles, (emitidos por la normatividad) para el consumo humano y que los metales Cadmio y Plomo, estuvieron presentes como elementos traza. Estos resultados son similares a los obtenidos en nuestro proyecto, donde el elemento traza fue el As, en cuanto al Pb Las diferencias de concentraciones dependen del tipo de actividad como petrolera, minera, industrial, desechos, derrames, entre otras acciones.

En otro trabajo “Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de plecos (*Pterygoplichthys sp.*) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grijalva y

Usumacinta, México” (Lorenzo Márquez et al, 2007), del Colegio Frontera Sur, cuyo objetivo fue cuantificar la concentración de metales pesados en tejido muscular del pez invasor *Pterygoplichthys* sp. y estimar el riesgo por exposición oral a estos elementos en infantes. El estudio se realizó en los ríos Balancán, Centla y Tenosique. Estos investigadores, consideraron a los metales pesados Cd y Pb, sus resultados reflejan que el Pb resulto estar en mayor concentración (no ponen la norma de comparación, pero resulta claro que este elemento esta disgregado por gran parte del territorio Tabasqueño, porque el resultado coincide con el nuestro y otros estudios (estar presente en carne de *Plecostomus* sp, en mayor proporción).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después del desarrollo y finalización de este proyecto, se puede concluir

1. Los resultados, revelaron que el musculo del *Plecostomus* sp, que se capturaron en 4 zonas de Tabasco (Centla, Centro, Paraíso y Macuspana) si puede ser perjudicial para los consumidores, ya que los valores observados de metales pesados, uno (Pb) está por encima de los límites permisibles, emitidos por la NOM-242-SS1-2009 y el Codex Stan-193-1995.

2. También se puede concluir que una investigación sobre la sobre el riesgo de exposición de infantes a metales pesados por consumo de carne de *Plecostomus* es de suma importancia, ya que en Tabasco muchas familias están asentadas en las riberas de los ríos y se alimentan de productos de la pesca.

3. Se requieren de más estudios, con el fin de determinar la bioacumulación de metales pesados en otras especies de peces de la zona de las zonas de Tabasco. El estudio adicional sobre la acumulación de otros compuestos como los plaguicidas organoclorados, PCB (Bifenilos Policlorados), PAHs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) y dioxinas en ésta y más especies debe llevarse a cabo, debido al uso de productos químicos orgánicos en la cuenca del Usumacinta-Grijalva.

Propuestas

La siguiente actividad como propuesta de este proyecto, es la elaboración de un “Manual técnico de *Hypostomus Plecostomus*”, cuya temática sea la siguiente:

I. Caracterización del *Plecostomus* sp.

- II. Determinación microbiológica en la carne del pez diablo.
- III. Contenido bromatológico en musculo del *Plecostomus* sp
- IV. Determinación de toxinas en carne del *Hypostomus Plecostomus*.
- V. Determinación de metales pesados en la carne del pez diablo.
- VI. Elaboración de embutidos del *Plecostomus* sp.

Cabe mencionar que los proyectos del I al VI, ya fueron elaborados y podrán ser integrados en un manual técnico para su difusión con personas o instituciones que se dediquen a la actividad de la pesca en Tabasco; esto podrá realizarse por medio del Consejo de Ciencia y tecnología del Estado de Tabasco [CCYTET] u otra dependencia dedicada a la investigación. Lo anterior, es importante que se lleve a cabo porque el pez diablo se ha vuelto importante en Tabasco, tanto que hasta una “Feria o festival del Pez Diablo” se realiza cada año en Tabasco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhattacharyya, S., Chaudhuri, P., Dutta, S. y. Santra, S. C., (2010)** *Bull. Environ. Cont. Toxicol.*, 2010, 84 (5): 618-622.
- Delgadillo, P.S., Hernández, S.M.E. y Perera, G.M.A., (2008).** *Alternativas de Aprovechamiento de Pterygoplichthys pardalis, mejor conocido como “pez diablo o plecos” en Tabasco, Revista Iberoamericana de Ciencias ISSN 2334-2501.*
- Everardo, B, M., Juárez, F, J., y Magaña, V, M. (2013).** *Distribución de Pterygoplichthys pardalis en las cuencas Grijalva, Tonalá y Carmen -Pajonal-Machona. IV congreso mexicano de ecología. No. Registro: 94 pp. 32.*
- Forstner U. y Wittmann G. T. W., (1983).** *Metal pollution in aquatic environment. Berlin, Springer-Verlag., 1983, pp: 30-61./*
- Lorenzo Márquez, H., Dosal Torres, A., Barba Macías, E., Ilizaliturri Hernández, C. A., Martínez Salinas, R. I., Morales López, J. J., y Sánchez Moreno I. (2007).** *Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de plecos (Pterygoplichthys spp.) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grijalva y Usumacinta, México.*

- Maldonado-Enríquez, E.J., López-Noverola, U., Salinas-Hernández, R.M., González-Cortés N., Cuenca-Soria C.A., Jiménez-Vera R., Hernández-Juárez, J. L., (2015).** *Contenido de metales pesados en músculo de pez diablo Pterygoplichthys pardalis.* <http://reibci.org/publicados/2015/enero/0800110.pdf>
- Mason C. F. (1991).** *Biology of Freshwater Fishes.* Longman Science and Technology, New York.
- Mendoza R. (2009)** “Capítulo 5. Invasión de plecos en la presa El Infiernillo, México: análisis de efectos socioeconómicos (relato de dos invasores)” en *Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras. Casos de prueba para el pez cabeza de serpiente (Channidae) y el pleco (Loricariidae) en aguas continentales de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental.*
- SAGARPA., (2011).** *Promueve CONAPESCA consumo de nuevas especies y su aprovechamiento.* productivo. <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/paginas/2011B601.aspx> (Consulta: 16/02/2013).
- Senthilkumar, K., Sajwan, K.S., Richardson J. P. y Kannan K. Mar. Poll. Bull., 2007,** 56:136-149- WHO (World Health Organization). *Environ. Health Criteria.* 1989, No. 85. Geneva, Switzerland
- Sosa, J. y Vásquez, C., (2011).** *Aplicación de agentes antimicrobianos orgánicos en la inhibición de Salmonella sp en harinas de pescado exportación. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Artículo Informe Profesional. Guayaquil, Ecuador.*

ACEPTACIÓN SENSORIAL DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN BAJOS EN AZÚCAR Y GLUTEN ELABORADOS A BASE DE HARINA DE ÑAME (DIOSCOREA SPP)

Arcadia Helena Martínez Ceballos, Ana Line Hernández Muñoz, Tomas Manrique Sansores Porter, Josafat Alberto Hernández Becerra, Angelica Alejandra Ochoa Flores

RESUMEN

Tubérculos de Ñame (*Dioscorea spp.*) representan un producto agroindustrial con gran potencial en la alimentación humana debido a su valor nutricional y propiedades funcionales presentes. La transformación de este producto a harinas aumenta su valor económico, favorece su vida útil e incrementa el número de productos procesados en donde se puede usar como ingrediente. Estudios sensoriales sobre el empleo de este tipo de harina en la elaboración de distintos productos de panificación es necesario para asegurar su futura aceptación por parte del consumidor. Por ello el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el nivel de aceptación sensorial de diferentes formulaciones de biscochos y biscochos Genoize elaborados con harina de trigo y ñame, edulcorados con azúcar y esteviósidos. Los resultados indicaron que los productos elaborados a base de harina de trigo y/o ñames edulcorados con azúcar de caña no se ven afectados en su apreciación sensorial por parte de los consumidores. Sin embargo, el empleo de esteviósidos en lugar de azúcar provocó calificaciones ligeramente menores. Todo lo anterior abre la oportunidad de que estos ingredientes (harina de ñame y esteviósidos) puedan ser usados en la elaboración de productos tipo biscocho enfocados a sectores de mercado que demanden productos con menos azúcar y gluten.

Palabras Clave: Ñame, Bizcocho, Aceptación sensorial.

Introducción

El ñame (*Dioscorea spp.*) es una planta perteneciente a la familia Dioscoreaceae, popular en países de zonas tropicales y subtropicales de África, Asia y el Caribe. Dentro de la familia Dioscoreaceae pueden identificarse entre 6 y 9 géneros con alrededor de 600 a 900 especies, algunas de ellas con gran potencial económico. Por ello, el cultivo del ñame ha adquirido gran importancia socioeconómica en muchas regiones del mundo (Méndes, 2005; González-Vega, 2012).

De las raíces y tubérculos con potencial alimenticio para el ser humano, el ñame resalta debido a que es un producto con alto valor nutricional y el cual ha sido cultivado desde hace más de 2000 años siendo consumido por diversas poblaciones rurales del planeta (González, 2012).

La composición bromatológica reportada establece que de cada 100 g de ñame crudo éste contiene 69.60 g de agua, 27.88 g de carbohidratos, 4.10 g de fibra dietética total, 1.53 g de proteína, 0.82 g de cenizas y 0.17 g de grasa total. En este sentido, se reporta que entre los principales minerales que contiene se encuentra el calcio (17 mg/100g), fósforo (55 mg/100g), hierro (0.54 mg/100g), potasio (816 mg/100), sodio (9 mg/100), zinc (0.24 mg/100) y magnesio (21 mg/100). Así mismo, contiene tiamina (0.11 mg/100g) niacina (0.55 mg/100g), riboflavina (0.03mg/100g), vitamina C (17 mg/100g), vitamina B6 (0.29 mg/100), vitamina A (7 mg/100g) y folatos (23 mg/100g) (INCAP, 2007). Por lo anterior, el ñame representa un producto con gran potencial alimenticio para la población humana.

DESARROLLO

Los tubérculos de ñame son muy perecederos por lo que no es muy fácil almacenarlo para su consumo, aún bajo refrigeración. Sin embargo, el procesamiento de éste para convertirlo en harina es una de las alternativas para su almacenamiento y consumo posterior. La transformación de los tubérculos de ñame a su presentación de harina incrementa significativamente su valor económico y hace que este producto pueda ser empleado como ingrediente en diferentes alimentos procesados. De esta forma la harina de ñame ha sido empleada en la formulación de pastas, papillas para infantes y en la elaboración de productos de panificación (Li et al., 2020)

Debido a su alto valor nutricional y propiedades de procesamiento, la harina de ñame representa un potencial ingrediente como sustituto parcial de la harina de trigo en la elaboración de pan. Por otro lado, la harina de ñame tiene la característica de no poseer gluten por lo que su empleo en la panificación permitiría obtener productos con un nulo o reducido nivel de este componente (Li, et al., 2020). Lo anterior es, actualmente muy relevante principalmente para ciertos sectores de mercados intolerantes o sensibles al gluten. Por otro lado, la harina de ñame en comparación con la de trigo posee una relevante cantidad de polisacáridos, compuestos fenólicos y flavonoides con alta capacidad antioxidante, lo cual realiza las ventajas funcionales del empleo de este tipo de harinas en la panificación.

En recientes años se han realizado estudios sobre el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de ñame en la elaboración de pan. Los resultados indican que la sustitución de la harina de trigo por la de ñame rindió panes con una elevada capacidad antioxidante y baja digestibilidad. No obstante, el nivel de sustitución de la harina de trigo por ñame provocó afectaciones en la apreciación de calidad del pan obtenido (Hsu et al, 2004). Si bien, el anterior estudio se enfocó en el efecto de la sustitución de la harina de trigo por ñame en la elaboración de pan de caja, hasta el momento no hay reportes del efecto de la sustitución de la harina de trigo por ñame en otro tipo de productos de panificación como los de tipo biscocho. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el nivel de aceptación sensorial de diferentes formulaciones de biscochos y biscochos Genoise elaborados con harina de trigo y ñame, edulcorados con azúcar y esteviósidos.

MÉTODO

Preparación de la harina de Ñame

Tubérculos de Ñame blanco fueron adquiridos de productores de la región del estado de Tabasco y trasladados al laboratorio de la Universidad Tecnológica de Tabasco. Al arribo, éstos fueron lavados con agua potable y pelados en su totalidad. El producto ya pelado fue rebanado en rodajas de aproximadamente 5mm de espesor. Las rodajas fueron deshidratadas a una temperatura de 60 °C por un periodo de 30 horas. Las hojuelas de Ñame deshidratado fueron sometidas a molienda y posteriormente tamizadas (tamiz número 20, apertura de 841 micrones), para la obtención de una harina fina.

Preparación de los productos

Biscochos Genoise fueron elaborados a partir de harina de trigo comercial y harina de ñame previamente en las proporciones consideradas en las diferentes formulaciones. Por un lado, las harinas consideradas y el polvo para hornear fueron mezcladas y tamizadas. Por otro lado, los huevos y la esencia de vainilla fueron batidos y posteriormente incorporando poco a poco el azúcar o el edulcorante a evaluar hasta alcanzar el punto de listón. Una vez alcanzado este punto se incorporar la harina con el polvo de hornear en forma de lluvia a la mezcla y con una espátula se homogenizo poco a poco en forma envolvente. Se colocó la mezcla en los moldes previamente engrasados y enharinado. Posteriormente se sometieron a horneado a 180°C por espacio de 20 minutos, o hasta que, al insertar un palillo, éste salga limpio.

Las formulaciones evaluadas fueron las siguientes: Formulación T40 Ñ60 S04. Biscocho elaborado con mezcla de harina de ñame (60%) y harina de trigo (40%) edulcorado con esteviósidos al 0.04%. Formulación T100 S04. Biscocho elaborado con harina de trigo (100%) edulcorado con esteviósidos al 0.04%. Formulación Ñ100 S04. Biscocho elaborado con harina de Ñame (100%) edulcorado con esteviósidos al 0.04%. Formulación T100 Az100 Sab. Biscocho elaborado con harina de trigo (100%) edulcorado con azúcar y saborizado con vainilla. Formulación Ñ100 Az100. Biscocho elaborado con harina de Ñame (100%) edulcorado con azúcar. Formulación T40 Ñ60 Az100. Biscocho elaborado con mezcla de harina de ñame (60%) y harina de trigo (40%) edulcorado con azúcar.

Evaluación sensorial de Aceptación

Una evaluación sensorial de consumidor fue realizada a través de una prueba afectiva utilizando una escala estructurada de 9 puntos (1= Me disgusta muchísimo, 2= Me disgusta mucho, 3= Me disgusta moderadamente, 4= Me disgusta ligeramente, 5= Indiferente, 6= Me gusta ligeramente, 7= Me gusta moderadamente, 8= Me gusta mucho y 9= Me gusta muchísimo). Los jueces recibieron producto cortado en cubos de aproximadamente 4 cm², los cuales derivaban de cada una de las formulaciones a evaluar. Las muestras para ser presentadas ante los jueces éstas fueron codificadas empleando números aleatorios de tres dígitos.

Análisis de los resultados

Los resultados derivados de las evaluaciones sensoriales fueron analizados a través de Análisis de Varianza (ANOVA) con posterior prueba de comparación de medias empleando

el estadístico de Tukey a una $p < 0.05$. Para ello se empleó el paquete estadístico MINITAB® (Aplicación en línea disponible en: <https://app.minitab.com>).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron divididos en dos partes, la primera considera a las formulaciones de biscochos edulcorados con esteviósidos comerciales (Svetia®). Estas formulaciones corresponden a las formulaciones: T40 Ñ60 S04 (Biscocho elaborado con mezcla de harina de ñame (60%) y harina de trigo (40%) edulcorado con esteviósidos al 0.04%), T100 S04 (Biscocho elaborado con harina de trigo 100% edulcorado con esteviósidos al 0.04%), Ñ100 S04 (Biscocho elaborado con harina de Ñame 100% edulcorado con esteviósidos al 0.04%). La elaboración de estos productos se llevó a cabo considerando el procedimiento de elaboración base, generalmente usado en la elaboración tradicional de biscochos. No obstante, la sustitución de la harina de trigo por ñame generó un comportamiento de la masa un poco distinto durante el procesamiento. Así, para el caso de la formulación Ñ100 S04 se observó que al momento de agregar los esteviósidos, no se alcanzó el punto de letra y al momento de agregar la harina de ñame, la mezcla se contrajo y se volvió muy pastosa y con una consistencia pesada y pegajosa, además la absorción de líquidos (huevos, vainilla y del azúcar) fue más rápida que en caso de la prueba con harina de trigo. Sin embargo, los productos finalmente obtenidos en las tres formulaciones edulcoradas con esteviósidos pueden considerarse como de apariencia normal a biscocho (Figura 1).

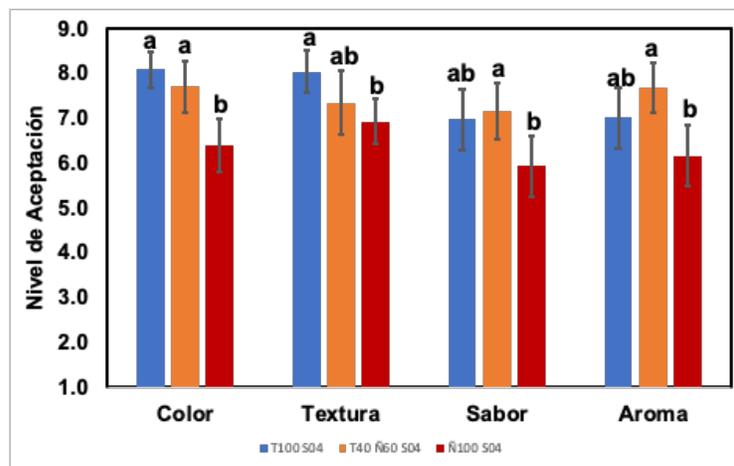
Figura 1. Imágenes de biscochos Genoise.



Nota: Imágenes de biscochos Genoise elaborados a base de (a) harina de trigo, (b) mezcla de harina de ñame y harina de trigo y (c) harina de Ñame. Todos los productos fueron edulcorados con esteviósidos comerciales.

Los resultados de la evaluación sensorial de los productos anteriormente indicados se presentan en la figura 2. Como puede observarse, la aceptación sensorial de los bizcochos elaborados con 100% harina de Ñame (Ñ100 S04) obtuvieron una calificación significativamente menor que los productos elaborados con 60% de harina de Ñame y 40% de trigo (T40 Ñ60 S04) o con los elaborados con 100% harina de trigo (T100 S04) en los atributos de color, textura, sabor y aroma. Si bien, la calificación obtenida en el caso de la formulación Ñ100 S04 es estadísticamente menor al compararla contra las otras formulaciones, la percepción sensorial no es desagradable, de hecho, generó una apreciación de entre “Me gusta ligeramente” (6) a “Me gusta moderadamente” (7). Por otro lado, es hacer notar que la formulación en donde la proporción de harina de ñame fue del 60% (T40 Ñ60 S0) la apreciación sensorial en todos los atributos evaluados no fue diferente de lo observado para el producto formulado con 100% harina de trigo (T100 S04) (Figura 2).

Figura 2. Grado de aceptación sensorial de Bizcochos Genoise.



Nota: Se describe el nivel de aceptación sensorial de Bizcochos Genoise elaborados a base de harina de Ñame (Ñ100 S04, barras rojas), mezcla de harina de ñame y harina de trigo (T40 Ñ60 S04, barras naranjas) y harina de trigo (T100 S04, barras azules).

Todos los productos fueron edulcorados con esteviósidos comerciales. Barras de error indican un intervalo de confianza del 95% para cada valor medio. Letras minúsculas diferentes entre tratamientos dentro de cada uno de los atributos evaluados indica diferencia estadística significativa. Prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El otro grupo de productos analizados en el presente estudios corresponde a los elaborados a partir de formulaciones edulcoradas con azúcar, formulaciones T100 Az100 Sab (Biscocho elaborado con harina de trigo (100%) edulcorado con azúcar y saborizado con vainilla), Ñ100 Az100 (Biscocho elaborado con harina de Ñame (100%) edulcorado con azúcar), T40 Ñ60 Az100 (Biscocho elaborado con mezcla de harina de ñame (60%) y harina de trigo (40%) edulcorado con azúcar) y T100 Az100 (Biscocho elaborado con harina de trigo (100%) edulcorado con azúcar). En este grupo de productos el comportamiento a lo largo de la elaboración no se distanció de lo comúnmente presentado en la elaboración tradicional, obteniendo biscochos de adecuada apariencia (Figura 3).

Figura 3. Imágenes de biscochos de harina de ñame y trigo.



Nota: Imágenes de biscochos elaborados a base de mezcla de harina de ñame y harina de trigo (a), harina de trigo (b) y harina de trigo con saborizante (c) y harina de Ñame (d). Todos los productos fueron edulcorados con azúcar de caña comercial.

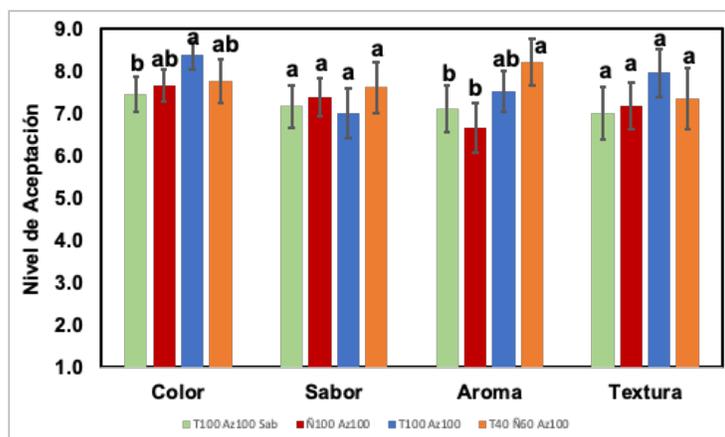
En la figura 4 se presentan los resultados de la evaluación sensorial aplicadas a las formulaciones edulcoradas con azúcar. Como puede apreciarse en el caso de los atributos de sabor y aroma no se observa diferencia significativa en la calificación obtenidas por los productos elaborados a partir de las distintas formulaciones. Esto indica que la sustitución total o parcial (Ñ100 Az100 o T40 Ñ60 Az100) de la harina de trigo por harina de ñame no influyó en la apreciación sensorial de biscochos edulcorados con azúcar. Por otra parte, es de señalar que en caso del atributo de aroma la formulación T40 Ñ60 Az100 obtuvo una calificación significativamente superior a Ñ100 Az100 y T100 Az100 Sab. En el caso del

color, se observa que si bien la calificación mayor fue obtenida por el producto elaborado 100% con harina de trigo (T100 Az100), no se observó diferencia significativa con los productos en donde hay presencia total o parcial de harina de ñame (Ñ100 Az100 o T40 Ñ60 Az100).

Al considerar las calificaciones obtenidas por los biscochos edulcorados con azúcar, éstas se encontraron entre “Me gusta moderadamente” (7) y “Me gusta mucho” (8). Lo anterior contrasta con lo observado en los biscochos edulcorados con esteviósidos, los cuales obtuvieron calificaciones que se encontraban entre “Me gusta ligeramente” (6) a “Me gusta moderadamente” (7). Esto último resalta la gran influencia del tipo de edulcorante empleado en las formulaciones más allá de la sustitución de la harina de trigo por ñame.

Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio con lo reportado por (Hsu, et al, 2004) se encuentra que las calificaciones reportadas en los mismos atributos sensoriales observado para el pan de caja elaborado con diferentes niveles de harina de ñame fueron menores (entre 5 y 7 en una escala estructura de 9 puntos). Sin duda, el tipo de producto de panificación en donde se puede emplear la harina de ñame influye grandemente en la aceptación sensorial emitida por los consumidores. Lo encontrado en el presente estudio abre una gran posibilidad de empleo comercial de la harina de ñame en la elaboración de productos de panificación tipo biscochos en donde la aceptación sensorial por parte de los consumidores no se ve significativamente afectada.

Figura 4. Grado de aceptación sensorial de bizcochos elaborados a base de harina de Ñame.



Nota: Describe el grado de aceptación sensorial de bizcochos elaborados a base de harina de Ñame (Ñ100 Az100, barras rojas); mezcla de harina de ñame y harina de trigo (T40 Ñ60 Az100, barras naranjas); harina de trigo (T100 Az100, barras azules) y harina de trigo con saborizante de vainilla (T100 Az100 Sab, barras verdes).

Todos los productos fueron edulcorados con azúcar de caña comercial. Barras de error indican un intervalo de confianza del 95% para cada valor medio. Letras minúsculas diferentes entre tratamientos dentro de cada uno de los atributos evaluados indica diferencia estadística significativa. Prueba de Tukey ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Biscochos elaborados a base de harina de trigo y/o ñames edulcorados con azúcar de caña no se ven afectados en su apreciación sensorial por parte de los consumidores. Sin embargo, el empleo de esteviósidos en lugar de azúcar de caña para edulcorar los productos, provocó una calificación ligeramente menor en los atributos sensoriales evaluados abriendo la oportunidad de ser empleados estos ingredientes en la elaboración de productos tipo biscocho enfocados a sectores de mercado que demanden productos con menos azúcar y gluten.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- González-Vega, M. E., (2012).** *The yam (Dioscorea spp.). characteristics, uses and medicinal value. important aspects of this crop development. Cultivos tropicales, 33(4):5–15.*
- Hsu, C., Hurang, S., Chen, W., Weng, Y., and Tseng, C., (2004).** *Qualities and antioxidant properties of bread as affected by the incorporation of yam flour in the formulation. International Journal of Food Science and Technology, 39:231–238.*
- INCAP, (2007).** *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica, volume 1. Serviprensa S.A., 2a edition.*
- Li, Q., Li, Y., Zou, J., Gou, S., Wang, F., y Su, X., (2020).** *Influence of adding chinese yam (Dioscorea opposita Thunb.) flour on dough rheology, gluten structure, baking performance, and antioxidant properties of bread. Foods (Basel, Switzerland, 9(3):256.*
- Mendes, R.A., (2005).** *Cultivando el inhame ou cara da costa. cruz das almas. EMBRAPA, page 26.*

RED NEURONAL ARTIFICIAL BACKPROPAGATION PARA LA DETECCIÓN DE POSIBLES CASOS COVID- 19

Miguel Humberto Moreno Carrillo, Alejandro Medina Santiago, Susana
Chávez Cruz

RESUMEN

El presente trabajo, analiza la aplicabilidad de una Red Neuronal Artificial Backpropagation, para la detección de posibles casos Covid-19. La red multicapa está conformada en la primera capa por 8 neuronas, en la segunda capa por 3 neuronas y en la tercera capa por 2 neuronas. Cuenta con 8 entradas, 2 salidas y 256 posibles combinaciones. La convergencia de la red fue del 100% en todas las posibles combinaciones y salidas establecidas. Se evaluó en Matlab y simuló en ISIS Proteus.

Palabras Clave: Red Neuronal Artificial, Covid-19, Backpropagation, Arduino, Matlab

Introducción

La pandemia que provocó el coronavirus SARS-COV2 (Covid-19) ha generado una crisis mundial, afectando al sistema de salud y las empresas. Por consiguiente, es necesario generar desarrollos que permitan mejorar la detección y seguimiento de posibles casos Covid-19 (Conversation, 2020).

La velocidad y el ritmo de transmisión del Covid-19 han resultado en una pandemia mundial, con importantes consecuencias para la salud, las finanzas y la política (Organización Panamericana de la Salud, 2020).

DESARROLLO

El uso del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) que son fusión de las Redes de Área Corporal (WBAN) y los sistemas embebidos de control; que permiten generar la

identificación oportuna de señales, almacenamiento y posterior procesamiento (Emre y Murtaza, 2022).

Debemos asegurarnos de que los dispositivos IoT utilizados para facilitar el monitoreo y el tratamiento de COVID-19 por ejemplo, dispositivos IoT médicos (IoMT) estén protegidos, como podría ser por soluciones de autenticación y control de acceso, soluciones de gestión de claves y criptografía, entre otros (Emre, y Murtaza, 2022).

Una Red Neuronal Backpropagation, o también conocida como de propagación hacia atrás, resulta de la forma en que el error es propagado hacia atrás a través de la red neuronal, en otras palabras, el error se propaga hacia atrás desde la capa de salida. Esto permite que los pesos sobre las conexiones de las neuronas ubicadas en las capas ocultas cambien durante el entrenamiento. (Garcia Murilo, 2021)

Este trabajo es una parte del proyecto doctoral enfocado en desarrollar un Framework basado en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT), que permita en una empresa y/o institución identificar, registrar y dar seguimiento al personal que presente posibles síntomas de coronavirus SARS-COV2 (Covid-19). Almacenando en una base de datos los parámetros obtenidos y dar seguimiento vía dispositivos móviles a los posibles portadores del virus.

Objetivos

Desarrollar una Red Neuronal Backpropagation, que permita identificar posibles candidatos a Covid-19, por medio de un sistema embebido IoMT (Internet de las cosas Médicas).

MÉTODO

Las entradas de la Red Neuronal Artificial están conformadas por 8 entradas de datos los cuales podemos colocar en este momento como un cuestionario, sin embargo, la temperatura corporal, el nivel de oxigenación y el pulso cardiaco se toman los valores a través del sistema embebido, y en conjunto con los datos ingresados por medio de una pantalla Touch, el usuario completa la encuesta, y con esta información la Red Neuronal toma las decisiones pertinentes.

Se divide la información de entrada en dos condiciones: Alta prioridad y dar seguimiento. Como se puede observar en la tabla 1.

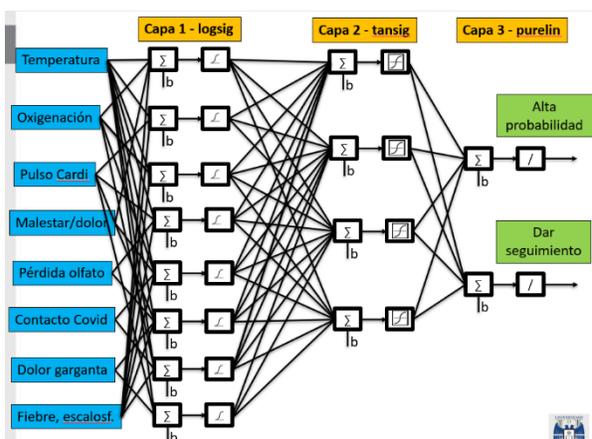
Tabla 1. Entradas de la Red Neuronal.

CONDICIONES - ALTA PRIORIDAD		SI	NO
Temperatura Corporal	¿Presenta fiebre de más de 38°C?		
Nivel de oxigenación,	¿Presenta en la sangre una oxigenación menor al 90%?		
Pulso cardiaco,	¿Presenta 120 pulsaciones por minuto?		
	¿Presenta malestar general, cansancio excesivo o dolor muscular/articular importante, tos persistente?		
	¿Percibe pérdida o alteración repentina del gusto u olfato?		
CONDICIONES - DAR SEGUIMIENTO		SI	NO
	En los últimos 14 días, ¿has tenido contacto con alguna persona con síntomas o diagnóstico covid?		
	Se nota dolor de cabeza importante, dolor de garganta o congestión nasal?		
	Pese a no presentar fiebre, ¿se nota sensación febril o escalofríos?		

Como salidas de la Red Neuronal se manejan las siguientes dos posibles prioridades, alta probabilidad de contagio, y dar seguimiento a posible candidato.

- ALTA PROBABILIDAD (Salida 1 de la Red Neuronal):
 - 3 o más Alta prioridad.
 - 2 alta prioridad, 2 de baja prioridad.
 - 1 alta prioridad, 3 de baja prioridad.
- DAR SEGUIMIENTO (Salida 2 de la Red Neuronal):
 - 1 o 2 Alta prioridad.
 - 1 o 2 Alta prioridad, 2 de baja prioridad.
 - 1, 2 o 3 de baja prioridad.

Ilustración 1. Red Neuronal Artificial Backpropagation



La Red Neuronal Backpropagation propuesta está conformada por:

- 8 entradas.
- 2 salidas.
- 3 capas.
- Primera capa: 8 neuronas, Función de transferencia logsig.
- Segunda capa: 4 neuronas, Función de transferencia tansig.
- Tercera capa: 2 neuronas, Función de transferencia purelin.
- 256 posibles combinaciones.

Se evalúa por medio de Matlab la Red Neuronal, con un error permitido de 1×10^{-5} , generando un máximo de 1000 épocas de evaluación, se analizó con 3 métodos de entrenamiento los cuales fueron:

- Retropropagación de gradiente conjugado con actualizaciones por método de Fletcher-Reeves (traincgf).
- Gradiente descendiente con retropropagación de impulso (traingdm).
- Gradiente descendiente con impulso y retropropagación de tasa de aprendizaje adaptable (traingdx)

Sin embargo, los dos últimos métodos de entrenamiento nunca lograron converger aún en 1000 ensayos, por lo que el método utilizado para este proyecto fue Retropropagación de gradiente conjugado con actualizaciones por método de Fletcher-Reeves (traincgf).

Como se puede observar en la siguiente imagen, el cual es un fragmento del código Matlab para el entrenamiento de la Red Neuronal Artificial Backpropagation:

Ilustración 2. Entrenamiento de la Red Neuronal Artificial (Matlab).

```
%Feedforward de Backpropagation, entrenamiento traincgf
%Primera capa logsig, segunda capa tansig, tercer purelin
net = newff(minmax(p), [8 4 2], {'logsig', 'tansig', 'purelin'}, 'traincgf');

%Inicializacion de Ws y bs
net = init(net);

%Error permitido entre A y T
net.trainparam.goal = 1e-5;

%El número de epocas para correr
net.trainparam.epochs = 1000;

%Entrenamiento
net = train(net,p,T);

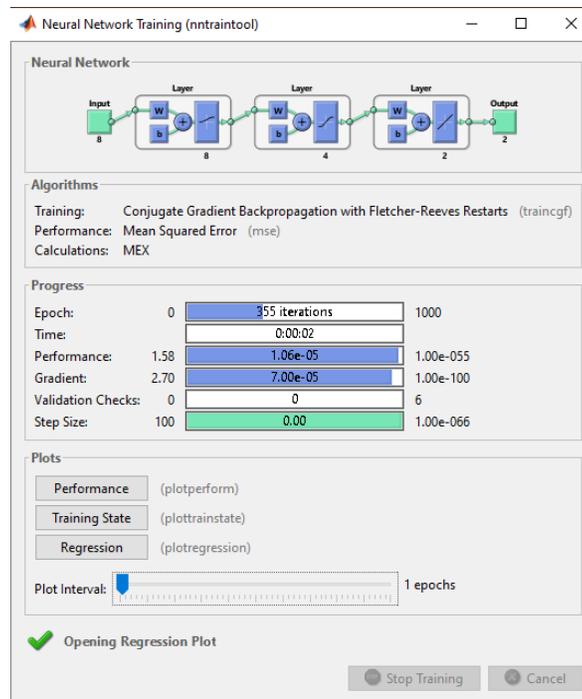
%Simulación de la salida
a = sim(net,p);

%Bias
b1 = net.b{1,1}, b2 = net.b{2,1}, b3 = net.b{3,1},

%Pesos
w1 = net.iw{1,1}, w2 = net.lw{2,1}, w3 = net.lw{3,2}
```

El entrenamiento nos otorga como resultado los siguientes datos, en los cuales podemos observar que en la iteración 355 se obtuvo la convergencia de la Red, con un tiempo total de análisis de 2 segundos, con un performance de 1.58, gradiente de 2.70, utilizando el método de entrenamiento “traincgf”

Ilustración 3. Resultados del entrenamiento de la Red Neuronal.



Se codificó en Arduino la Red Neuronal Artificial Backpropagation con 8 entradas, y sus 2 salidas, las cuales se contemplaron como entradas digitales Pull-Up quedando su configuración de la siguiente forma (parte del código Arduino):

Ilustración 4. Programación Arduino de la Red Neuronal.

```
void loop()
{
  p1=!digitalRead(boton1);p2=!digitalRead(boton2);
  p3=!digitalRead(boton3);p4=!digitalRead(boton4);
  p5=!digitalRead(boton5);p6=!digitalRead(boton6);
  p7=!digitalRead(boton7);p8=!digitalRead(boton8);

  /* primer capa 8 Neuronas */
  n1 = p1*(4.4689991220883) + p2*(-0.844334446665689) + p3*(2.64902325974949) + p4*(4.2582882238730)
  n2 = p1*(3.24705951289422) + p2*(-4.40907158118718) + p3*(-5.44110648866174) + p4*(1.185925854053)
  n3 = p1*(1.73326490531464) + p2*(2.80727651921264) + p3*(1.95583937650304) + p4*(1.97878209933694)
  n4 = p1*(4.19723471315327) + p2*(2.79023654567692) + p3*(2.15269457513649) + p4*(1.1225021431529)
  n5 = p1*(4.70285382891081) + p2*(5.26176012488206) + p3*(3.37375586694462) + p4*(2.51752860993186)
  n6 = p1*(-2.73044059104653) + p2*(-1.87741051542016) + p3*(-3.58869590329119) + p4*(2.36246867842)
  n7 = p1*(-4.31142092201659) + p2*(1.80784731755499) + p3*(-0.14432678137157) + p4*(-3.87271575561)
  n8 = p1*(3.38794515118393) + p2*(0.387857796307503) + p3*(-2.98185969788699) + p4*(0.227267738038)

  /* Analisis logsig - Primera capa neuronal */
  s1=logsig(n1);
  s2=logsig(n2);
  s3=logsig(n3);
  s4=logsig(n4);
```

RESULTADOS

Con los pesos y desviaciones obtenidas para las primeras 8 neuronas de la capa 1, las 3 neuronas de la capa 2, y las dos neuronas de la capa 3; se generó un script en Matlab para la comprobación de la convergencia de la Red Neuronal, dando resultados del 100% de efectividad.

Este script generado compara cada uno de los 256 estados esperados, con los 256 valores obtenidos al ejecutar la Red Neuronal Backpropagation, como se puede observar en la imagen siguiente:

Ilustración 5. Script Matlab de comprobación de efectividad de la Red Neuronal.

```
1 -   clc;
2 -   estado = [1 8 16 34 128 256];
3 -   %estado = [1 8 256];
4 -
5 -   for i=1:6
6 -       %for i=1:3
7 -           p_valor=p(:,estado(i));
8 -           T_valor=T(:,estado(i));
9 -           capa1 = logsig((w1*p_valor) + b1);
10 -          capa2 = tansig((w2*capa1) + b2);
11 -          capa3 = purelin((w3*capa2) + b3);
12 -          Entrada = p_valor'
13 -          Valor_Esperado = T_valor'
14 -          Valor_Obtenido = capa3'
15 -          disp('-----');
16 -   end
```

Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started](#).

Valor_Esperado =

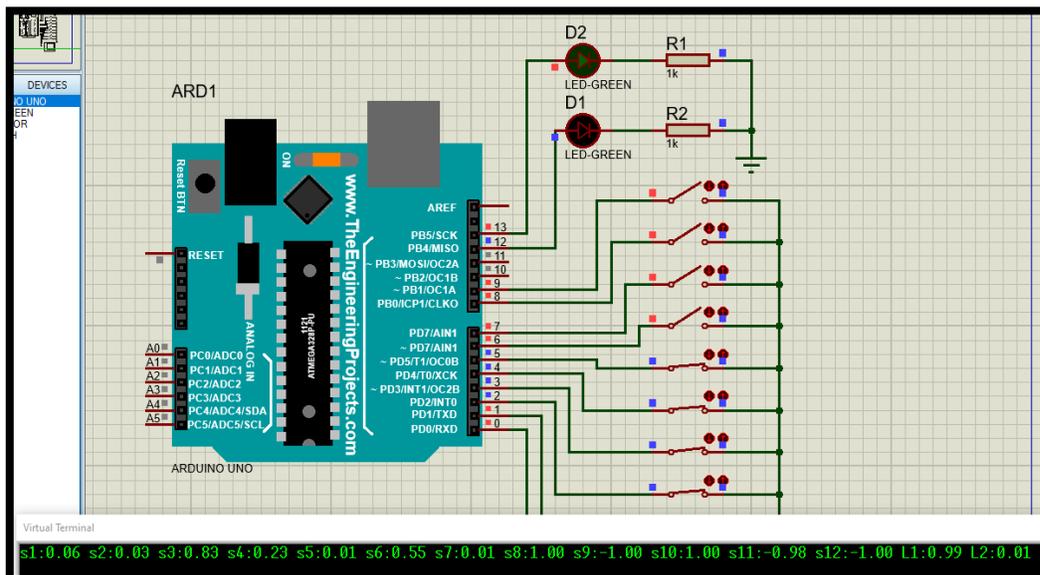
1.00	0
------	---

Valor_Obtenido =

1.00	0.00
------	------

Al igual que se generó una simulación electrónica con el software ISIS Proteus de la Red Neuronal, proporcionando resultados con 100% de efectividad y convergencia.

Ilustración 6. Simulación electrónica de la Red Neuronal (ISIS Proteus)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró una convergencia de la Red Neuronal Backpropagation diseñada del 100%, demostrando a nivel de simulación electrónica y de análisis numérico de su factibilidad y correlación.

Por todo lo anterior, se considera la Red Neuronal Backpropagation diseñada como efectiva para la posible detección de candidatos a Covid-19, por lo que se implementará en el Sistema embebido IoMT (Internet de las Cosas Médicas), que se está desarrollando para la obtención del grado de Doctor en Desarrollo Tecnológico, en la Universidad René Descartes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Conversation.** (2020). *Coronavirus: conociendo al enemigo.*
<https://theconversation.com/coronavirus-conociendo-al-enemigo-134489>
- Emre, Y., y Murtaza, C., (2022).** *Real-time internet of medical things framework for early detection of covid-19. Biomedical Signal Processing and Control.*
- García Murilo, D. G., (2021).** *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones. Academia.*
- Organización Panamericana de la Salud., (marzo de 2020).**
<https://www.paho.org/es/temas/coronavirus#:~:text=Los%20coronavirus%20se%20pueden%20contagiar,del%20dromedario%20al%20ser%20humano/>

***EL USO DE LAS TICs PARA EL
DESARROLLO TURÍSTICO SOSTENIBLE Y
SISTEMAS ENERGÉTICOS***

RECORRIDO VIRTUAL: MUSEO CULTURA MAYA “BALAM B’E”

Ana Aurora Guerrero González, Gladys del Carmen Calao Sánchez,
Mishelle Scarlet Hernández Vertiz

RESUMEN

La cultura Maya fue una civilización mesoamericana que se desarrolló principalmente en México, específicamente en Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chiapas y Tabasco; al igual que en otros países como Guatemala, Belice, Honduras y El Salvador. Destacó por más de dos milenios en la escritura, arte, arquitectura, mitología, sistemas de numeración, astronomía y matemáticas. Los mayas mostraron una preferencia para el color verde o azul-verde, en consecuencia, pusieron un alto valor en el jade y otras piedras verdes, asociándolas con el Dios del Sol. Esculpieron artefactos desde cuentas y teselas finas, hasta cabezas talladas. La nobleza maya practicaba la modificación dental, y algunos llevaban incrustaciones de jade en sus dientes. Las máscaras funerarias de mosaico también pudieron ser elaboradas de jade, como la de K'inich Janaab' Pakal, el rey de Palenque. Eggbrech. (2011). El objetivo de la creación de este recorrido virtual es promover la cultura maya y motivar a las personas a visitar de forma presencial las zonas arqueológicas, beneficiando al sector turístico de México; así mismo, a quienes les interese y tengan algún tipo de impedimento, lo puedan conocer virtualmente. El proyecto se elaboró, con base en la metodología para software Desarrollo Rápido de Aplicaciones, RAD, y con el apoyo de herramientas tecnológicas como Blender, Unity, Visual Studio Code, Photoshop y Audition. Finalmente se destaca el esfuerzo de los estudiantes, ya que el trabajo de diseño requiere invertir tiempo, así como habilidades para programar paseos virtuales, conocer elementos gráficos, realizar el control de pruebas y renderizados de 360 grados.

Palabras Clave: Recorrido, Virtual, Museo.

Introducción

Los museos son instituciones dedicadas a la recolección, conservación, preservación y educación en el sentido más didáctico de la palabra. Schmilchuk. (2003). Desde la antigüedad una élite detentaba el saber, y como consecuencia, el poder: la realeza, la aristocracia, la iglesia y la burguesía. Por citar un ejemplo, en Babilonia, el palacio del rey Nabucodonosor II (605-562 a. de c.) fue llamado “gabinete de maravillas de la humanidad” producto de los botines de guerra. Con el paso de los años el arte, la música, el cine, y una gran diversidad de temas que solo se encuentran en un museo, migraron al internet, de esta manera miles de usuarios tienen acceso a su contenido sin la necesidad de trasladarse físicamente a estos lugares, por lo que ayuda significativamente a la difusión de la cultura en el mundo. En este contexto, cabe destacar el impacto de nuevas tecnologías, tal como el recorrido, visita o paseo virtual; siendo una recreación o simulación de un entorno completamente virtual, donde el visitante puede desplazarse e interactuar para conocer y recorrer diferentes espacios libremente. Generalmente permite visualizar estancias recreadas a partir de información modelada hiperrealista. En la ciudad de México, se han desarrollado recorridos virtuales de algunos de sus museos, teniendo como particularidad, que son una recopilación de retratos reales, a los cuales se les puede girar a 360 grados. Por mencionar algunos, está el M. Frida Kahlo, fue creado usando HTML5 y es visible en cualquier dispositivo móvil; M. Palacio Minería, elaborado con Unity, en un render 3D tipo videojuego; M. Regional de Guanajuato Alhóndigas de Granaditas, implementado con el programa Flash y cuenta con narraciones grabadas para la mayoría de sus salas; M. Cuauhnáhuac, el recorrido incluye “tarjetas flotantes” con información sobre cada uno de los recintos, utilizando tecnología Flash, el cual se debe activar para verlo en Chrome; el M. del Pueblo Maya, al igual que la mayoría de los tours del INAH, está compuesto por una serie de fotos de 360 grados. Por último, la finalidad de este proyecto es diseñar y desarrollar un Museo Virtual 3D para divulgar y promover la cultura Maya en beneficio del sector turístico de México.

DESARROLLO

Descripción del proyecto

EL Museo Cultura Maya BALAM' BE, es un recorrido virtual creado en su totalidad en realidad 3D. La interfaz fue desarrollada con la aplicación Unity, utilizando el lenguaje de programación C# como base principal para los eventos y acciones que se realizan dentro del recorrido y los menús interactivos de estos. La interfaz principal consta de un menú con tres opciones. La opción: Iniciar, permite el acceso al recorrido principal dentro del museo, y a un visor en el que se pueden apreciar únicamente las piezas modeladas y que se encuentran en la exhibición, además, destaca los detalles de las figuras, tales como, nombre del autor, nombre de la pieza y una breve descripción de cada una. La siguiente opción: Créditos, muestra los nombres de los estudiantes que colaboraron en el desarrollo del proyecto, así como los aportes de cada uno. Finalmente, la opción: Salir, es un botón que sirve para cerrar la aplicación y dar por finalizado el recorrido.

Tecnología utilizada en el desarrollo del sistema

Se utilizaron las siguientes herramientas:

- Lenguaje de programación C#: Para los eventos, acciones y menús interactivos.
- Unity Hub: Para el desarrollo de la interfaz.
- Blender: Para el modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales. También de composición digital, con la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura (incluye topología dinámica) y pintura digital.
- Illustrator: Es el editor de gráficos vectoriales, sirve para editar.
- Adobe Audition: Es una aplicación en forma de estudio de sonido, para la edición de audio digital, permite, tanto un entorno de edición mezclado de ondas multipista no-destructivo como uno destructivo.

Photoshop: Usado principalmente para el retoque de fotografías y gráficos.

MÉTODO

Desarrollo del software

Basado en el modelo RAD (Rapid Applications Development, Desarrollo Rápido de Aplicaciones), el cual describe un proceso de implementación de software, que implica el desarrollo iterativo y la construcción de prototipos.

Aplicación de las etapas del modelo de desarrollo de la aplicación RAD:

• Fase de planificación de requisitos:

El equipo de desarrollo de software, los colaboradores, en conjunto con los profesores asesores, coincidieron en los requerimientos mínimos con los que debía contar el museo: el número de piezas para la exhibición, tamaño de la infraestructura, así mismo, los de la computadora en la que se desarrollaría el proyecto.

• Fase de diseño del usuario:

Se diseñaron varios bocetos de la interfaz, los cuales se presentaron ante los asesores, para su evaluación y retroalimentación, de modo que resultara un producto fácil e intuitivo para el público en general.

• Fase de construcción:

Esta etapa comprende la codificación, integración de unidades y pruebas de sistemas.

• Fase de transición:

Se puso a prueba la versión final del proyecto con diferentes personas, se recopilaron las opiniones de los usuarios para poder implementarlas dentro de la aplicación y así corregir errores finales.

RESULTADOS

Diseño gráfico de la aplicación

Encontrar un buen diseño de aplicación es complicado, debido a que debe ser una interfaz de usuario amigable hacia diversos públicos. El primer obstáculo presentado fue el logo de la aplicación. Se implementó el concepto de la cultura Maya dentro del bosquejo, haciendo uso de decoraciones del mismo tema y elementos de la naturaleza, figura 1. El nombre es de origen maya, cuyo significado es “Camino del jaguar”, ya que es un animal representativo de esta cultura y de la zona en la que se encuentra ubicado el recinto.

Figura 1. Logotipo BALAM'BE.



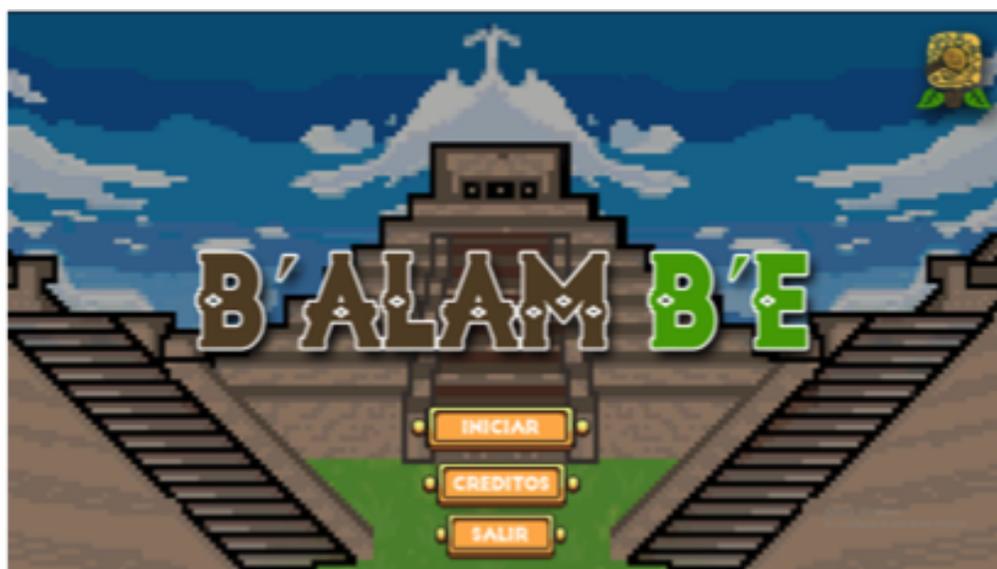
(Hernández Vertiz, Inédito)

En segundo lugar, se diseñaron los recursos de la aplicación: botones, tipografías, y dibujos 2D. En el menú principal se incluyeron tres botones: Iniciar, Información y Salir. Para el diseño de los botones se utilizó el software Illustrator, debido a que permite trabajar con vectores y por lo mismo sus acabados son más profesionales.

Diseño de las pantallas que conforman la aplicación

En la figura 2 se aprecia la pantalla con el menú principal.

Figura 2. Menú Principal.



(Hernández Vertiz, Inédito)

En la siguiente figura, se encuentran los nombres de los estudiantes que participaron en el diseño y creación del Recorrido Virtual: Museo Cultura Maya “BALAM B’E”, del grupo 5°. A de la carrera de TSU en TIC. Área Entornos Virtuales y Negocios Digitales.

Figura 3. Créditos.



(Hernández Vertiz, Inédito)

A continuación, se aprecia una vista de la entrada principal del museo virtual.

Figura 4. Entrada principal.



(Hernández Vertiz, Inédito)

La figura 5 contiene la forma en que se ve una de las galerías con piezas arqueológicas grandes.

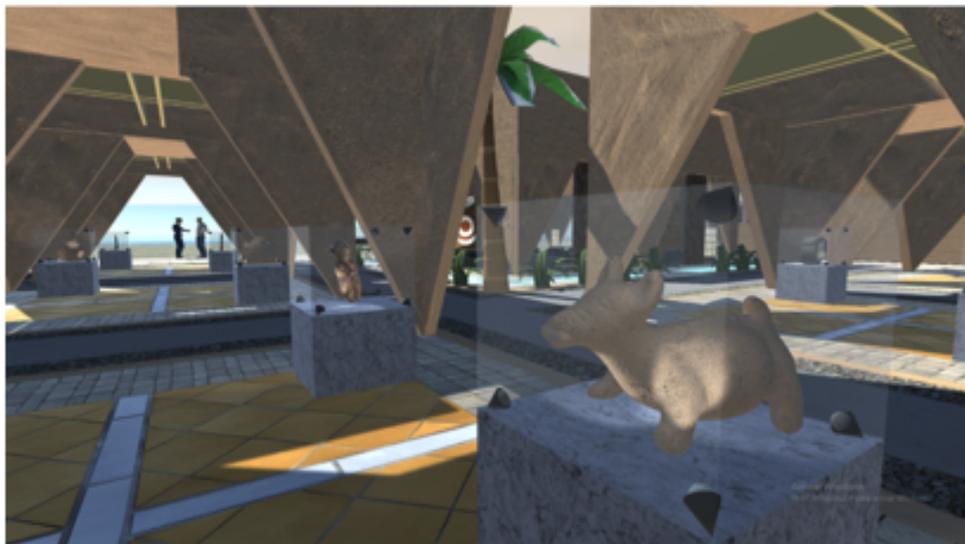
Figura 5. Galería de piezas grandes.



(Hernández Vertiz, Inédito)

En la siguiente pantalla se muestran los pasillos o pequeñas salas con piezas de menor tamaño.

Figura 6. Piezas pequeñas.



(Hernández Vertiz, Inédito)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a la experiencia que vivió el mundo entero con la pandemia por el Covid19, con fronteras, establecimientos y lugares turísticos totalmente cerrados, se abrió una puerta a grandes oportunidades. Se venció la barrera de la distancia, la económica, y cualquier cantidad de pretextos para no conocer sitios extraordinarios, como son los museos; todo esto sin duda, con el apoyo de las tecnologías. Con el diseño y desarrollo del Recorrido Virtual: Museo Cultura Maya “BALAM B’E”, existe la posibilidad de conocer esta asombrosa civilización. Apoyado en la metodología de software, desarrollo rápido de aplicaciones, que facilita el proceso iterativo y la construcción de prototipos. Se implementó con herramientas tecnológicas de uso libre, con estándares de calidad, portabilidad y vigencia a largo plazo. Por otro lado, significa un mayor número de visitantes virtuales y potencialmente presenciales, igualmente podría inspirar a otros destinos turísticos a integrar sus propios recorridos virtuales. Para el equipo de trabajo, implicó aprendizaje y crecimiento profesional, cada uno aportó elementos valiosos para lograr el resultado final, que además deja un sentir de satisfacción personal para todos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eggbrecht, E. (2011). Los Mayas: Una civilización Milenaria. Barcelona, España: Ullman. Recuperado el 26 de 01 de 2022*
- Hernández Vertiz, M.S. Inédito. Logotipo Balam'be. Estudiante de Técnico Superior Universitario (TSU) de la Universidad Tecnológica de Tabasco.*
- Schmilchuk, G. (2003). MUSEOS: Comunicación y Educación. Antología Comentada. En G. Schmilchuk. La historia y los modelos del museo de arte. (Pág. 34) México: pdf.*

USO DE LAS TICs COMO CANAL DE COMERCIALIZACIÓN DE ARTESANÍAS

Magda Gabriela Sánchez Trujillo, José Ángel Pérez Hernández,
Meliza Lázaro Hernández

RESUMEN

El presente proyecto surge por la necesidad de incrementar las ventas de artesanías que como consecuencia de la pandemia COVID-19 disminuyeron aproximadamente en un 80%. A razón de lo anterior el propósito es desarrollar un prototipo de tienda virtual que muestre los productos artesanales para ampliar el mercado no solo a nivel local sino nacional. Dentro del prototipo que integra un api en dos partes, una que es el módulo para el administrador de la tienda y otra para el usuario final que será el que realice las compras de PayPal. Se utilizaron herramientas diversas de tecnologías de información como visual studio 2019, ASP.NET framework y SQL server. Para la organización y ejecución del proyecto se utilizó la metodología Spring que tiene como objetivo optimizar la ejecución de proyectos. A través de esta estrategia, es posible organizar mejor los equipos de trabajo y dividir las tareas en demandas graduales para lograr un proceso eficiente. Como resultado se obtuvo un prototipo funcional que con base en la operación de los artesanos cumple con el objetivo de mostrar los productos a los clientes y permitir realizar el proceso de compra/venta. Además, el prototipo puede ser actualizado en un futuro y cubrir más necesidades.

Palabras Clave: Tecnologías de información, Mercado artesanal, Ventas, Tienda virtual.

Introducción

El Centro Cultural de Tepeji del Rio, alberga un programa llamado Tianguis Cultural Raíces, este se enfoca en la venta de los productos de los artesanos del municipio y comunidades aledañas, pues hasta este momento no existe un enfoque turístico que permita ampliar sus ventas, que aunado a la pandemia del COVID-19 se vieron afectadas en un 80% aproximadamente.

La venta virtual busca la accesibilidad de los usuarios y los artesanos, acortando distancias, disminuyendo costos de mantenimiento de una tienda física o búsqueda de puntos de venta en eventos al ofrecer todo tipo de productos artesanales, lo cual persigue incrementar la confianza y el flujo de comercio en la red.

De esta forma el proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo de tienda virtual con factibilidad para vender y escalabilidad, es decir; integra gestión de inventario y puntos de venta, lo que beneficia a los artesanos de distintas comunidades y a pequeños emprendedores.

En el presente documento se mostrará todo el proceso que se ha llevado a cabo con ayuda de las tecnologías de información (TICs) para realizar el prototipo de la tienda virtual, así como sus objetivos, alcances, limitaciones, entre otras.

La implementación de ventas virtuales pretende incrementar los ingresos de los artesanos de la zona, además de la generación de empleos.

DESARROLLO

El diseño artesanal, es una actividad de transformación para la producción creativa de objetos finales individualizados que cumplen una función utilitaria y tienden a adquirir el carácter de obra de arte; que se realiza a través de la estructura funcional e imprescindible de los oficios y sus líneas de producción se llevan a cabo en talleres con baja división social del trabajo y el predominio de la aplicación de la energía humana, física y mental, generalmente complementada con herramientas y máquinas relativamente simples. La actividad es condicionada por el medio geográfico, que constituye la principal fuente de materias primas, además del desarrollo histórico y el marco sociocultural, dónde se desarrolla y el cual contribuye a caracterizar. (Patiño, 2014)

Por su parte, el artesano se considera como una persona que ejerce una actividad profesional creativa en torno de un oficio en un nivel preponderante manual y conforme a sus conocimientos y habilidades técnicas y artísticas, el cual trabaja en forma autónoma y deriva su sustento principalmente de dicho trabajo y transforma en bienes útiles su esfuerzo físico y mental (Bustos Flores, 2016).

En cuanto al mercado o punto de venta, es el lugar físico (tienda), o virtual (ecommerce), en el que una empresa tiene un contacto con un posible consumidor. Este

espacio, puede tratarse de un espacio virtual, un portal web, donde se instala un negocio online. Un programa para punto de venta es un sistema de software y hardware que ayuda a propietarios, gerentes y encargados de un negocio a automatizar las tareas que intervienen en el proceso de ventas, como el control de inventarios, el control de ventas, la obtención de reportes y la facturación (Carrillo,2020).

Un aspecto importante además del espacio on line, es el sistema de control de inventarios que permite a una empresa gestionar insumos y existencias que produce y almacena. De esta forma, además de saber qué tiene, identifica cuáles productos debe mover más rápido, cuáles son los que escasean, cómo es su rotación y en cuáles invierte más recursos para su correcto punto de reorden. Lo anterior permite controlar los bienes y el stock, registrar los movimientos y hacer un seguimiento de las compras, manteniendo organizada la cadena de suministro sin ningún contratiempo (Rodríguez, 2021).

En este sentido, una tienda virtual o tienda online es un sitio web diseñado especialmente para vender productos u ofrecer servicios mediante el comercio electrónico. Uno de sus principales beneficios es que este espacio de Internet permite a los vendedores exhibir su mercancía durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana y desde cualquier lugar. Se debe brindar formas de pago seguras. Además, es imprescindible que las políticas de seguridad y de confidencialidad de datos de los clientes estén disponibles para todos en cualquier momento.

El Visual studio 2019, es un entorno de desarrollo integrado, lo cual también es conocido como IDE (Integrated Development Environment). Por lo tanto, este comprende un conjunto de herramientas que pueden simplificar bastante el desarrollo de sitios, aplicaciones y servicios web. Visual Studio .NET cuenta con todas las características que esperas de un IDE como la opción de autocompletado, identificación de código y resaltado de errores. Además, puede generar código de forma automática, permite arrastrar y soltar controles a un formulario y provee atajos de trabajo que facilitan compilar y construir las aplicaciones. (Certus, 2021)

El Microsoft SQL Server, es uno de los principales sistemas de gestión de bases de datos relacional del mercado que presta servicio a un amplio abanico de aplicaciones de software destinadas a la inteligencia empresarial y análisis sobre entornos corporativos. Es ideal para almacenar toda la información deseada en bases de datos relacionales, como

también para administrar dichos datos sin complicaciones, gracias a su interfaz visual y a las opciones y herramientas que tiene. Es algo vital, especialmente en webs que tienen la opción de registrar usuarios para que inicien sesión (Pérez, 2021).

Como complemento al proceso de venta se integra la herramienta de PayPal el cual es un servicio que permite pagar, enviar dinero y aceptar pagos sin tener que introducir datos financieros continuamente. Esta tecnología utiliza cifrado y prevención de fraudes de forma ininterrumpida para proteger la información (PayPal, 2022).

Para el desarrollo del proyecto se opta por la metodología SCRUM es una técnica de la metodología ágil ampliada que ofrece una forma de conectar varios equipos que necesitan trabajar juntos para ofrecer soluciones complejas, se trata de un proceso iterativo en donde cada iteración se llama sprint, que buscan en lo posible que sean lo más corto en cuanto al tiempo de ejecución de las tareas, dichos sprint van de la mano con la planificación, ejecución, pruebas y retrospectiva. Los ciclos de la metodología son: reunión del equipo para planificar el Sprint, con el objetivo de establecer la lista de las User Stories que se tratarán durante el Sprint. Esto forma el Sprint Backlog y a continuación se descomponen en tareas por el equipo de desarrollo.

1. Definición de roles

Debido a que el recurso humano se limita a dos personas para la ejecución de este proyecto, se ha tomado todos los roles para desarrollar a conformidad las actividades planteadas por el marco de trabajo.

2. Product Owner o Dueño del Producto

Es el encargado de ser el representante de todas las personas involucradas en el proyecto ya sea personal interno o externo, actúa como un canal de comunicación, define los objetivos del producto del proyecto.

3. Scrum Master

Es el encargado de liderar el equipo con el objetivo de seguir las reglas y los procesos de la metodología Scrum. Además, se encarga de revisar los requerimientos antes de continuar con la siguiente iteración, es el encargado de realizar las reuniones diarias (daily meeting) con el equipo de trabajo con el fin de realizar validaciones acerca del avance e inconvenientes presentados en el desarrollo del proyecto, protege al equipo de interrupciones externas que pueda tener el equipo con el objetivo de afianzar la productividad.

4. Equipo de Trabajo o Team Scrum

Se encarga de cumplir los requisitos establecidos de la metodología 100% comprometidas con el grupo de trabajo.

Una vez definidos los roles y los alcances de cada integrante del equipo de trabajo se proceden a realizar el cronograma de reuniones semanales para definir los Product Backlog.

Product Backlog. Es el conjunto de requisitos denominados en el proceso como historias de usuario, descritos en un lenguaje sin tecnicismo en donde se prioriza el ROI (retorno de la inversión) considerando su costo beneficio, durante la ejecución del proyecto se van realizando los ajustes a los requisitos y prioridades en intervalos de tiempo regulares.

MÉTODO

Se utilizó la metodología Scrum en este método el Sprint es el período en el cual se lleva a cabo una iteración o trabajo, para la ejecución del Sprint se recomienda que el tiempo estimado sea constante y definido previamente por el equipo de trabajo. La duración del sprint en particular puede alcanzar 2 - 3 semanas dependiendo del proceso de ejecución (celeridad del equipo) y dificultades que puedan encontrarse en el desarrollo de las iteraciones los cuales deben ser catalogados como un riesgo.

Se realizaron reuniones previas al comienzo de la ejecución de cada sprint para definir el objetivo, tiempo estimado y el alcance de cada iteración.

Responsabilidades del gestor de producto

- Asistencia a la reunión
- Exposición y explicación de las historias que necesita para la próxima iteración y posibles restricciones de fechas que pudiera tener.

Responsabilidades del Scrum Manager

- Moderación de la reunión

Responsabilidades del equipo técnico

- Confección de la pila del sprint.
- Auto asignación del trabajo.

Cuadro de reuniones

- Reuniones técnicas los viernes: se cuenta con la presencia del Coordinador del proyecto o Scrum Manager de duración máxima 15 minutos.

Debido a las circunstancias en las cuales se desarrolló el proyecto no se compartía el mismo tiempo de trabajo debido a que los integrantes del equipo se encuentran trabajando en diferentes lugares, por ello se realizaban reuniones los viernes en un espacio de tiempo corto con el objetivo de dar a conocer los avances del proyecto y especificar y explicar los problemas a resolver durante la ejecución del sprint.

Responsabilidades del Scrum Manager

- Supervisión de la reunión y anotación de los impedimentos que pueda detectar el equipo.
- Gestión para la solución de las necesidades o impedimentos detectados por el equipo.
- Responsabilidades del equipo técnico
- Comunicación individual del trabajo realizado el día anterior y el previsto para día actual.
- Actualización individual del trabajo pendiente.
- Notificación de impedimentos ocurridos para la realización de las tareas asignadas.

Cuadro de reuniones técnicas

- Reunión de cierre de sprint y entrega: Reunión para probar y entregar el incremento al gestor del producto.

Reunión realizada con el objetivo de recibir el trabajo que fue ejecutado. El trabajo completado debe ser entregado al cliente en modo de “prototipo”. En caso de que este trabajo no se encuentre completo, no se puede presentar al cliente, se expone los motivos por los cuales presentó retraso o percance que pueda haber alterado la ejecución del mismo, esto en un ambiente laboral puede acarrear a sanciones o multas según lo definido contractualmente.

Características:

- Prácticas: sobre el producto terminado, no sobre simulaciones o imágenes).
- Responsabilidades del gestor de producto: asistencia a la reunión, recepción del producto.

Responsabilidades del Scrum Manager. Moderación de la reunión

RESULTADOS

Utilizando Visual Studio 2019 con el framework de ASP.NET utilizando MVC, se muestran las pantallas de bienvenida y registro.

Figura 1. Bienvenida a la tienda



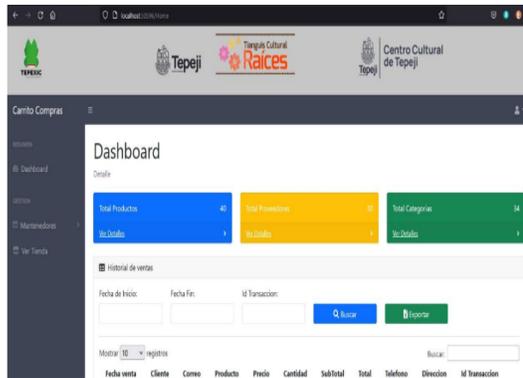
Elaboración propia

Figura 2. Registro de cliente.



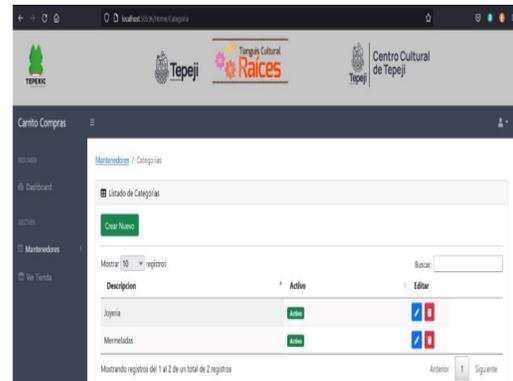
Elaboración propia

Figura 3. Dashboard y tabla de venta



Elaboración propia

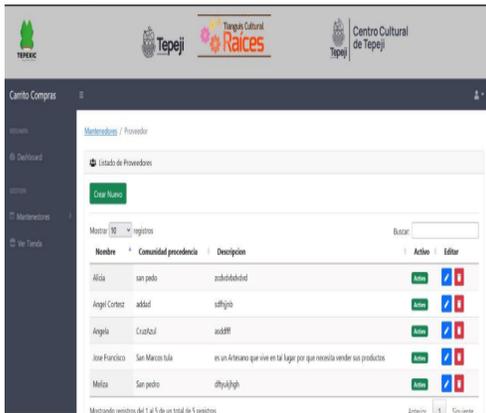
Figura 4. Pantalla de categorías vista



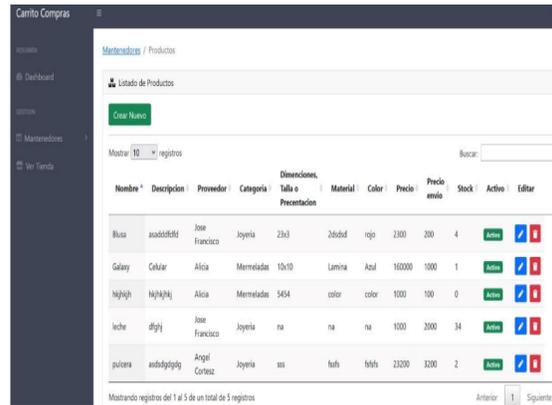
Elaboración propia

Figura 5. Pantalla de productos.

Figura 6. Pantalla de proveedores.



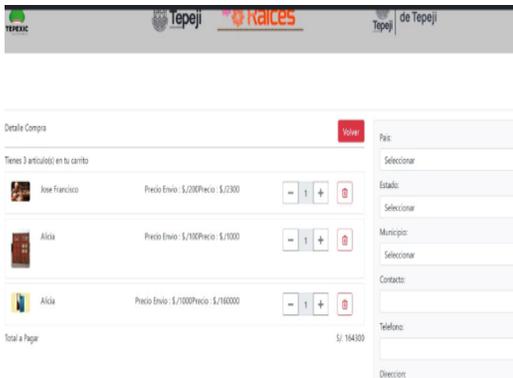
Elaboración propia



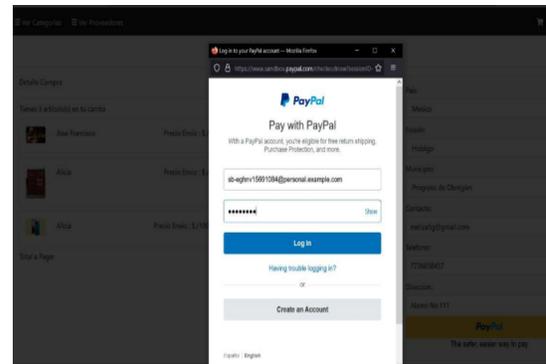
Elaboración propia

Figura 7. Detalle de compra

Figura 8. Pantalla proceso de pago



Elaboración propia



Elaboración propia

Pruebas de funcionamiento. En las pruebas funcionales se utilizaron las pantallas de aplicación con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los requisitos levantados en la etapa de análisis de información, así como la aceptación del usuario final.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que dado los de factores que intervienen en un proceso de ventas en línea, se pudo evidenciar que un sitio Web como lo es este prototipo de Tienda Virtual, consiguió un porcentaje de uso aceptable comparándolo con los sitios actuales que se dedican al comercio electrónico, puesto que este es diferente porque está enfocado al sector artesanal.

Es importante tomar en cuenta las necesidades específicas del usuario final, esto con el fin de no incurrir posteriormente en reprocesos por cambios no controlados.

El éxito de un proyecto enmarcado en una metodología ágil radica en el seguimiento periódico a las actividades definidas, en este caso la utilización de la metodología SCRUM hizo más fácil el control de los riesgos a los que estaba expuesto el desarrollo

- Se recomienda realizar una segunda parte para este proyecto, pues se puede mejorar y así lograr atraer más clientes.
- Tener a la mano información más detallada de los artesanos y sus productos para tener una base de datos con registros y no sea pesado el agregado de categorías o proveedores.
- Contactar con empresas de paquetería para que se pueda implementar el servicio completo dentro del sistema y así lograr reducir el trabajo para el administrador.
- Realizar compras y ventas en línea, dado que el proceso de estas es más sencillo y rápido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bustos Flores, C.** (2016). *La producción artesanal*.
<https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545880009.pdf>
- Carrillo, A.** (2020). *¿Qué es un punto de venta y cuáles son sus beneficios?*
<https://nsposweb.com/blog/que-es-un-punto-de-venta-y-cuales-son-sus-beneficios>
- Certus.** (2021). *¿Qué es Visual Studio NET y cuáles son sus beneficios?*
<https://www.certus.edu.pe/blog/que-es-visual-studio-net/#:%7E:text=por%20lo%20b%C3%A1sico,Visual%20Studio%20.,sitios%2C%20aplicaciones%20y%20servicios%20web>.
- Hernández, R. D.** (2021). *El patrón modelo-vista-controlador. Arquitectura y frameworks explicados*. freeCodeCamp.org.<https://www.freecodecamp.org/espanol/news/el-modelo-de-arquitectura-viewcontroller-pattern/>
- Patiño, J. D.** (09 de 09 de 2014). *CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ARTESANAL*. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/52155543.pdf>

- PayPal.** (2022). *Qué es PayPal - Cómo funciona PayPal.*
<https://www.paypal.com/es/webapps/mpp/paypal-popup>
- Pérez, S. D.** (2021). *Microsoft sql server.* <https://intelequia.com/blog/post/2948/qué-es-microsoft-sqlserver-y-para-qué-sirve>
- Rodríguez, J.** (2021). *Control de inventarios: definición, importancia y sistemas.*
<https://blog.hubspot.es/sales/que-es-control-de-inventarios/>

TIC'S PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO EN EL SIGLO XXI

Fabiola Lizama Pérez, Lucía Sandoval Núñez,
Susana Mandujano Contreras

RESUMEN

El acelerado avance del uso de plataformas digitales en tiempos de Pandemia Covid-19, han proporcionado la oportunidad de capacitar de manera innovadora a profesionales del turismo en Tabasco. El límite establecido para la actividad educativa presencial en el año 2021 favoreció la propuesta de elaboración de un dispositivo de capacitación profesional en entornos virtuales; el cual se convirtió en la herramienta adecuada y se puso en marcha a través del diseño de un diplomado. La adopción de la plataforma Zoom, permitió concretar una alternativa de capacitación mediada por la tecnología, de carácter asincrónica, y apoyada en sólidos pilares pedagógicos, donde participaron profesionales del turismo en un entorno de carácter colaborativo. La investigación se dividió en tres etapas: Diagnóstico, Diseño e Impartición del Diplomado. Se diseñó por un equipo interdisciplinario de especialistas y se estructuró sobre: Tutoriales, módulos de autoaprendizaje, foros de intercambio y videoconferencias. Los participantes mostraron interés de ir construyendo conocimientos que a lo largo de su vida profesional han adquirido. El acento del contexto no está puesto en la tecnología concreta sino en el conjunto de relaciones mutuas que forman una constelación de elementos educativos que al ponerse en marcha son únicos en cada clase virtual que de tender a homogenizarse perderían gran parte de su valor obtenido en términos de desarrollo educativo. Es necesario proporcionar servicios de educación a distancia, usando tecnologías, que permitan a los usuarios mayor flexibilidad de conexión a los sistemas de gestión del aprendizaje.

Palabras Clave: Plataforma Digital, Turismo Sostenible, Gestión del Aprendizaje.

Introducción

La Universidad Tecnológica de Tabasco, enfrentó un gran reto en materia de educación a distancia y en el uso de softwares o plataformas digitales durante el tiempo que duró la pandemia COVID-19. Desde su creación en el año de 1996, la UTTAB ha sido una institución que ha brindado educación presencial a sus alumnos en las distintas carreras que ha estado ofertando y en sus diversos niveles. La apertura de la Licenciatura en Gestión y Desarrollo Turístico permitió una innovación en la forma de facilitar el aprendizaje a los estudiantes, ya que el Plan de estudios se diseñó para ser impartido de forma híbrida, es decir 60 % presencial y 40% a través de la plataforma MOODLE. Esta nueva modalidad de enseñanza impulsó a la capacitación de los profesores en el uso de esta plataforma digital. Por otra parte, ya que en su decreto de creación la UTTAB tiene como finalidad, el beneficio a la comunidad siempre ha ofertado cursos de capacitación de manera presencial. Sin embargo, en el año 2013, un grupo de profesoras de la carrera de Turismo concretó el diseño de un diplomado en entornos virtuales a servidores del sector turístico en la ruta del cacao al chocolate, dado que observaron un cambio de paradigmas, es decir, que se estaba evolucionando de un modelo de enseñanza tradicional a modelos de autoaprendizaje y autoformación en entornos virtuales. Debemos reconocer que la impartición del diplomado fue un esfuerzo fugaz, porque las clases y los cursos se siguieron ofertando casi en su totalidad de manera presencial. No obstante, en el año 2020, los tiempos de pandemia obligaron a los profesores de la UTTAB a impartir sus clases 100 % de manera virtual, capacitándose en el uso de diversas plataformas digitales, zoom, teams, meet, entre otras. Asimismo, la UTTAB, encontró un área de oportunidad y de innovación, concretando con el Instituto Tecnológico Superior de los Ríos en el municipio de Balancán, una capacitación en entornos virtuales para profesores del ITSUR, impartida por las 3 Doctoras en Ciencias, adscritas al Posgrado de la UTTAB. El tiempo en que se realizó este proyecto fue de septiembre-abril 2021. La limitación geográfica se circunscribe específicamente a profesores investigadores del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos en el municipio de Balancán. El objetivo de esta investigación está centrado en la elaboración e impartición de un programa de capacitación de profesionalización turística, en entornos virtuales, a profesores del

Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Ríos, para contribuir al desarrollo del Turismo Sustentable en el estado de Tabasco.

DESARROLLO

El objetivo de este proyecto fue diseñar e impartir un programa de capacitación en entornos virtuales, mediante el uso de la plataforma ZOOM, con la finalidad de contribuir a la profesionalización de los maestros del área del turismo del ITR en el municipio de Balancán; para ello, se requirió realizar implementaciones tecnológicas en la infraestructura tecnológica de la UTTAB.

MÉTODO

La metodología del proyecto se desarrolló en las siguientes etapas:

1) Organizar un focus group con la asistencia de los directivos del ITSR, con especialistas de la SECTUR y con profesores de la rama turística, a efecto de conocer su opinión con respecto al diseño e impartición de un curso de capacitación en entornos virtuales.

2) Realizar entrevistas a los responsables del programa en el ITSR, para realizar un diagnóstico acerca de la brecha tecnológica de los maestros.

3) Diseñar un programa de capacitación en entornos virtuales, mediante el uso de la plataforma ZOOM, con una duración total de 30 horas, distribuidas en tres módulos.

El estudio realizado es con un enfoque cualitativo. Asimismo, el estudio se pretende orientar desde la perspectiva constructivista y la investigación fenomenológica, debido a que éste busca documentar y describir la experiencia de lo vivido por el sujeto de estudio. Las razones que se centra en la fenomenológica son porque el grupo a estudiar es pequeño y se pretende conocer las experiencias de los profesores del ITR con respecto al aprendizaje de las bases teóricas del turismo a través de un curso virtual, con el uso de plataformas digitales.

RESULTADOS

La implementación del programa de educación no formal en entornos virtuales constituyó una herramienta de capacitación innovadora adaptable a las Instituciones de Educación Superior, hecho que ha quedado demostrado a través de testimonios expresados en el focus group realizado de manera virtual, en el mes de noviembre del 2020, evento en el

que participaron funcionarios municipales, académicos y especialistas interesados en el desarrollo de la Región de los Ríos y con el propósito de intercambiar conocimientos, experiencias y opiniones sobre la impartición de cursos a distancia a través de la Plataforma Zoom.

De lo anterior, se da la propuesta para implementar el programa de educación no formal como herramienta sustantiva de capacitación en entornos virtuales entre la Universidad Tecnológica de Tabasco y el Instituto Tecnológico de la Región de los Ríos del estado de Tabasco. El curso fue impartido a través de la Plataforma ZOOM y se facilitaron los tres módulos de Aprendizaje: Hotelería, Planeación Estratégica y Turismo Sustentable. El nivel de habilitación de los participantes es el siguiente:

Tabla 1. Nivel de habilitación profesional de los participantes.

Grado de estudios	Cantidad de profesores
Doctorado	5
Maestría	8
Licenciatura	4
Total de participantes	17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Profesión de los participantes.

Profesión del participante	Cantidad de profesores
Licenciatura en Administración	9
Licenciatura en Contaduría Pública	2
Licenciatura en Gestión y Desarrollo Turístico	1
Licenciatura en Comercio y Finanzas Internacionales	1
Lic. en Idiomas	1
Lic. en Economía	1
Ing. Ambiental	1
Ing. Bioquímica	1
Total de participantes	17

Fuente: Elaboración propia

Información obtenida en el focus group, a través de la siguiente guía de preguntas.

1.- ¿Es el modelo de capacitación en entornos virtuales un instrumento adecuado para los profesores universitarios?

2.- ¿Qué acciones pudieran emprenderse para fortalecer los programas de capacitación a los profesores universitarios?

3.- ¿Cuál es el impacto de enseñar con herramientas virtuales a los profesores universitarios?

4.- ¿Se cuenta con la disponibilidad para aprender en entornos virtuales?

5.- ¿Las aulas virtuales responden a las necesidades de los profesores universitarios?

La educación a distancia es un modelo educativo que consiste en proporcionar a los participantes materiales, actividades e interacciones que conformen un ambiente de aprendizaje acorde a las necesidades del plan de capacitación, para que pueda realizarlas en forma personal, o en equipo, sin estar siempre presente junto con todos los participantes en el mismo lugar y al mismo tiempo. Una de las características principales de la educación a distancia es su flexibilidad de horarios. El participante organiza su período de estudio, lo cual requiere cierto grado de autodisciplina. Esta flexibilidad de horarios a veces es limitada por ciertos cursos o actividades que exigen participaciones en línea en horarios específicos. Se requiere el uso de diferentes herramientas Web de aprendizaje colaborativo para mediar el aprendizaje. Algunas de estas herramientas son los tableros electrónicos, los servicios de mensajería instantánea también conocidos como chats, los foros electrónicos, la descarga y envío de archivos y otros recursos como los Wiki y los Blogs. Las diferentes herramientas colaborativas que permiten facilitar la mediación del aprendizaje por medios electrónicos se integran en aplicaciones conocidas. Éstos son programas instalados en un servidor, que se emplean para administrar, distribuir y controlar las actividades realizadas por los participantes desde cualquier lugar donde se encuentren. Aprender es ante todo educarse, formar el propio ser, los compromisos de un aprendiz en los entornos virtuales es ahora la nueva modalidad. El diseño del programa se conformó de tres importantes módulos. A continuación, una descripción de los temas más relevantes que se consideraron en el diseño del temario. De la Torre Padilla (2004), define el concepto de Turismo como un fenómeno social, que permite la movilidad temporal y voluntaria de turistas o grupos de turistas, con diferentes motivos como recreación, descanso, cultura o salud. Para ello requieren desplazarse de su lugar de residencia a otro sitio diferente, pero sin el propósito de una

actividad lucrativa o remunerada, lo que permite múltiples interrelaciones sociales, económicas y culturales de gran importancia. El congreso Interamericano de Turismo considera que el turismo es una fuerza cultural, económica y social, con un impacto trascendental en todos los sectores de la sociedad (Cárdenas, 2016). El turismo es un fenómeno social pero que trasciende de otro fenómeno social que es el tiempo libre institucionalizado, es decir, las vacaciones pagadas. La esencia del turismo es el ocio y un conjunto de manifestaciones de orden ideológico, político, económico, social, psicológico y físico ambiental, que se interrelacionan e interactúan entre ellas (Boullón, 2006). La SECTUR (2004), clasificó las actividades turísticas en dos grandes vertientes: Turismo de Sol y Playa y Turismo Alternativo, el cual se divide en: Ecoturismo, cuyas actividades turísticas son ambientalmente responsables y consiste en viajar a áreas naturales con el fin de disfrutar los atractivos naturales y culturales, con un bajo impacto ambiental, propiciando involucrar activamente a la población local en beneficio de sus comunidades y propiciando la conservación de su patrimonio (Acerenza, 2013). Turismo Rural, implica viajes que tienen como finalidad realizar actividades de convivencia con las comunidades rurales, interactuando en todas aquellas expresiones sociales, culturales y productivas con la población local. Por último, el Turismo de Aventura, incluye viajes con actividades a nivel de habilidades físico-deportivas, con riesgo limitado y en contacto directo con la naturaleza. El objetivo principal de estos segmentos de mercado de turismo alternativo, es realizar actividades en contacto con la naturaleza, pero sin causar un grave daño en ellas (Zamorano, 2012). La actividad turística genera un impacto económico más acelerado en comparación con otras ramas productivas, debido a su naturaleza transversal y su integración en el tejido productivo regional, convirtiéndose en un importante motor de progreso económico y social. Pero ha sido criticada por el impacto negativo que ha tenido sobre el medio ambiente (Wojtarowski et al., 2016; Ricalde, 2016). En la Carta de Turismo Sostenible se plasma que se deberá desarrollar actividades turísticas que puedan soportar los diversos ecosistemas a largo plazo, y principalmente, que sean económicamente viables desde una perspectiva ética y social para las comunidades locales (Molina, 1998). Por su parte, la Organización Mundial del Turismo define al turismo sostenible como la gestión estratégica de los recursos naturales y culturales, para que los turistas realicen actividades, respetando los diferentes ecosistemas y la diversidad biológica, cuidando los procesos ecológicos que sostienen la vida, al mismo

tiempo que se satisfagan las necesidades económicas, sociales y estéticas de las comunidades receptoras del turismo (UNWTO, 2020). En México hay tres políticas nacionales que impulsan el desarrollo del turismo sostenible a nivel local. La primera es la Estrategia de Desarrollo Sustentable liderada por la Secretaría de Medio Ambiente Federal. La segunda es la Agenda 21 para el Turismo Mexicano, instrumentada por la Secretaría de Turismo (SECTUR, 2008) y la tercera política es la Agenda desde lo local de la Secretaría de Gobernación (SEGOB-INAFED, 2013). Estas 3 políticas nacionales son coincidentes en su forma, pero divergentes en su instrumentación, lo que genera una duplicidad de funciones (Gauna, 2007). Para el desarrollo de la capacitación virtual había que estar conscientes que los profesores del ITR es un grupo heterogéneo. El facilitador es la persona que ayuda en el desarrollo de habilidades y actitudes y proponiendo enfoques, instrumentos y procesos que posibilite el encontrar información, asimilarla, organizarla, procesarla y sobre todo, aplicarla y comunicarla a los demás. En cuanto a los resultados de esta investigación, se pretende que se conviertan en un instrumento útil a la sociedad, porque servirán como punto de referencia para proponer la implementación del programa de capacitación en entornos virtuales en los 17 municipios que integran la división política territorial del estado de Tabasco, proponiendo como un modelo de capacitación estratégico de enlace entre la Universidad Tecnológica de Tabasco y las instituciones de educación superior, ante la alternativa de trabajar proyectos conjuntos con el propósito de promover el desarrollo integral de las áreas del turismo y en diferentes ramas para satisfacer necesidades de la población académica. La adopción de la plataforma ZOOM, ha permitido concretar una alternativa de capacitación mediada por la tecnología, de carácter asincrónica, y apoyada en sólidos pilares de la educación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En nuestro caso de estudio, la importancia de proponer un modelo de capacitación para profesores del área turística en entornos virtuales haciendo uso de la infraestructura tecnológica de la Universidad Tecnológica de Tabasco, radica en la oportunidad que enfrentarán, por un lado la UTTAB y por el otro las Instituciones de Educación Superior en el estado de Tabasco, ante la posibilidad de trabajar conjuntamente en proyectos estratégicos de capacitación para favorecer el desarrollo integral de los municipios en el estado de Tabasco y crear condiciones de equidad entre los ciudadanos tabasqueños. Para la UTTAB,

el avance mundial de Internet y la cada vez mayor facilitación de su acceso, representa una importante oportunidad para acercar la educación y la capacitación a los distintos sectores que integran la sociedad, tendientes a igualar sus posibilidades de acceso, más allá de su condición y lugar de residencia. De esta forma, la capacitación a distancia permite acercar a las distintas comunidades, la posibilidad de aprender, o de resignificar lo aprendido, así como intercambiar, comparar y compartir experiencias desde las distintas realidades territoriales relacionadas con la actividad turística. Este proyecto representó una oportunidad para las Instituciones de Educación Superior ante la posibilidad de contar con herramientas de capacitación que le permitan fortalecer el desarrollo de las competencias requeridas para el desempeño laboral de los profesores del área turística bajo las características de calidad que en consecuencia propicie la certificación de la funcionalidad de las áreas de oportunidad que abarca la administración turística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acerenza, M.** (2013). *Desarrollo sostenible y gestión del turismo*. (3ª. Ed.). México: Trillas
- Boullón, R.** (2006). *Planificación del espacio turístico*. (4ª. Ed.). México: Trillas.
- Cárdenas, F.** (2016). *Producto turístico para el siglo XXI*. (2ª. Ed.). México: Trillas.
- De la Torre Padilla, O.** (2004). *Turismo fenómeno social*. (2ª. Ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Gauna, C.** (2007). *Análisis de la participación social como mecanismo de impulso a la implementación de la Agenda 21 Local para lograr el desarrollo en una Comunidad. Estudio empírico en Puerto Vallarta, Jalisco, México*". *Desarrollo Local Sostenible*, 3(7), 1–18.
- Molina, S.** (1998). *Turismo y ecología*. (6ª. Ed.). México: Trillas.
- Ricalde, G.** (2016). *Análisis del impacto del turismo de aventura a través del Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo en Jalcomulco, Veracruz, Tesis de Maestría*. México, Universidad de Costa Rica.
- SECTUR** (2008). *Agenda 21 para el Turismo Mexicano*. Tlalnepantla, Estado de México: Secretaría de Turismo.
- SECTUR.** (2004). *Guía Oficial de Destinos para el Turismo de Aventura, Ecoturismo y Turismo Rural en México*, México.

SEGOB-INAFED (2013). *Agenda Desde lo Local Material de Trabajo para su implementación. México, D.F.: Secretaría de Gobierno e Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.* <http://www.sectur.gob.mx/programas/programas-regionales>.

Wojtarowski-Leal, A., Silva E., Piñar, M.A., y Negrete J.A., (2016). *La responsabilidad social empresarial como pieza clave en la transición hacia el desarrollo sustentable en el sector turístico. Pasos, Revista de turismo y patrimonio cultural. Vol. 14 no.1: pp. 127-140.*

World Tourism Organization (2020), UNWTO. *Recommendations on Tourism and Rural Development – A Guide to Making Tourism an Effective Tool for Rural Development*, UNWTO, Madrid, (Consultada, 1 noviembre 2020). DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284422173>

Zamorano, F., (2012). *Turismo Alternativo. (2ª. Ed.). México: Trillas.*

PROPUESTA DE SEGURIDAD IP REMOTO Y ENERGÍAS RENOVABLES PARA RUTAS TURÍSTICAS DE TABASCO

María Reyna Guillermo Guillermo, Martha Ofelia Jiménez Velázquez,
Miguel Ángel Perera Chablé

RESUMEN

El estado de Tabasco cuenta con siete rutas turísticas, ubicadas a todo lo ancho de la extensión territorial, cada una con atractivos muy particulares. Algunas se encuentran ubicadas en la cabecera de algún municipio, mientras que otras están más alejadas. El turista tiene presente que puede visitar algunos sitios en cualquier época del año, y otros no siempre, con amigos o con la familia. Y así, vivir una gran experiencia con la variedad en gastronomía, artesanías y de cultura. (INEGI, 2021) También, se debe tomar en cuenta la situación que guarda el estado, ya que se colocó en el décimo quinto lugar de la Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana (ENSU) realizada en junio 2021 por el INEGI, el 66.6 por ciento de la población mayores de 18 años, consideró vivir en ciudades inseguras. (CONEVAL, 2020) En su informe CONEVAL 2020, menciona el porcentaje con carencias, por acceso a los servicios básicos, incluyendo las que no tienen electricidad; en Tabasco fue 26,2 puntos porcentuales mayor que el nacional. Presentando problemas específicos en algunas zonas rurales del estado, y una fuente de energía carente de funcionalidad. El objetivo es diseñar una propuesta para implementar un sistema de vigilancia IP remoto y otro fotovoltaico, para un procedimiento operativo eficaz que garantice la seguridad en esas zonas turísticas que se encuentran lejanas a las urbanas. Basado en las gestiones de la metodología de PMBOK, y con instrumentos como cámaras de vigilancia, antena de radiocomunicación y paneles solares, estarán enlazadas y energizadas. Es claro que la tecnología fotovoltaica ofrece una alternativa en el abastecimiento de energía, principalmente en lugares apartados.

Palabras Clave: Seguridad, Turística, Fotovoltaico.

Introducción

La Videovigilancia IP es tecnología de vigilancia visual, combina beneficios analógicos de los tradicionales CCTV (tv de circuito cerrado), con los de comunicación IP; permitiendo supervisión local y/o remota de audio y el tratamiento digital de imágenes, para reconocimiento de matrículas o facial. Específicamente en zonas turísticas, donde lo más importantes es salvaguardar al turista, a los empleados de estos sitios, además del equipamiento y mobiliario. El avance en seguridad y vigilancia ha llevado a que espacios urbanos o rurales e instituciones, tengan la necesidad de poseer estos equipos. Se ofrecen dispositivos de control a través de las cámaras IP, que permiten mayor conectividad y garantiza protección en la infraestructura. Así mismo, aprovechar el medio ambiente con energía limpia y renovable, dado que se utiliza la solar fotovoltaica. El objetivo es diseñar una propuesta para implementar un sistema de vigilancia IP remoto tipo isla (Radiocomunicación y SFV) en áreas turísticas de Tabasco. El proyecto se desglosa en gestiones, basado en la guía de PMBOK, contiene las de recursos humanos, costos, riesgos, entre otras. Además, resultados obtenidos, conclusiones y referencias. En consecuencia, se puede garantizar que la implementación refleje un incremento en la seguridad, disminución de pérdidas, confort operativo y en una mejor atención a los turistas.

DESARROLLO

Cámara IP

(Merchán, 2012) Captura el vídeo y el audio y puede ser fijas o móviles, estando conectadas por cable o en modo inalámbrico a una red de datos IP, a través de la cual se puede controlar y almacenar la información en NVRs (Network Video Recorder) o servidores de vídeo en red.

Grabador de video vigilancia

El DVR (Grabador de vídeo digital)

(Merchán, 2012) El grabador de vídeo digital o DVR es la tecnología actualmente en uso, permite grabar directamente en un disco rígido hasta 32 cámaras simultáneamente, no hay que esperar en la fila, no se pierden imágenes. Con algunos de los DVRs más modernos, se pueden almacenar videos de cámaras de vigilancia por 90 días o más. Esas son las ventajas, la desventaja es que, con tanta información, algún día tendrá un evento que lo obligue a

revisar los 90 días de vídeo de hasta 32 cámaras, es un trabajo necesario pero tedioso que puede llevar horas, incluso días.

Cableado para cámaras de vigilancia

PoE (Power over Ethernet)

(Merchán, 2012) La utilización de conmutadores Ethernet con funcionalidad PoE simplifica la instalación de una Cámara IP. Utilizando el mismo cable Ethernet se pueden enviar datos y corriente eléctrica a un dispositivo (cámara,), sin la necesidad de contar con tomas de alimentación adicionales.

Sistemas fotovoltaicos

Sistemas fotovoltaicos tipo Isla

(Solartechnology, 2007) El sistema fotovoltaico tipo “Isla”, es un sistema que puede mantener a una casa, completamente alimentada sin necesidad de una red eléctrica que la alimente. Posee sistemas de baterías y estas son suficientes para almacenar la energía acumulada del sol en el día, para entregarla en la noche o cuando el consumo sea elevado. Este sistema, trabaja con paneles fotovoltaicos, regulador de carga, baterías e inversor. Todos estos elementos varían en cuanto a capacidad, dependiendo de la cantidad de gente que vive en la casa, o el estilo de vida que desee llevar. Mientras más gente, es necesario, más paneles y/o más baterías, indicados en el estudio del proyecto, o en las etapas que el cliente quiera realizar la inversión.

Componentes básicos del sistema fotovoltaico domiciliario

Los componentes del sistema fotovoltaico están agrupados en tres subsistemas:

- a) Subsistema de Generación, responsable de transformar la energía solar en electricidad. Está conformado por el panel solar.
- b) Subsistema de almacenamiento, encargado de almacenar la energía eléctrica producida por el panel solar durante el día. Corresponde a la batería.
- c) Subsistema de control, permite tener el control de todo el sistema fotovoltaico y monitorear su buen funcionamiento. Normalmente este compuesto por el controlador de carga, el interruptor termomagnético, y la fusilera de protección para consumo.

El panel fotovoltaico o panel solar

(Acosta, 2013) Es el que permite transformar la energía solar en energía eléctrica. También se le llama módulo fotovoltaico y está conformado por varias celdas fotovoltaicas. Produce corriente continua (CC).

Planteamiento del problema

En Tabasco existen espacios turísticos muy importantes para los visitantes. Por mencionar algunos sitios como la Ruta del Cacao al Chocolate, con sus haciendas cacaoteras, la Hacienda La Chonita con su temazcal; o la Ruta Pantanos con su recorrido por la reserva de la Biosfera Pantanos de Centla; o en la Ruta Ríos, en Emiliano Zapata se puede visitar el Parqueológico. Actualmente en algunos lugares no cuentan con suficiente seguridad pública, y mucho menos con un servicio de electrificación de calidad, principalmente los más alejados de las cabeceras municipales. Esto ocasiona que se perciba un ambiente de incertidumbre, tanto para la comunidad local, como para los turistas, lo que puede impactar en una baja afluencia. De igual forma, se observa que la electricidad no cubre el total del territorio, constantemente ocurren cortes del servicio eléctrico, situación que empeora el problema antes mencionado.

MÉTODO

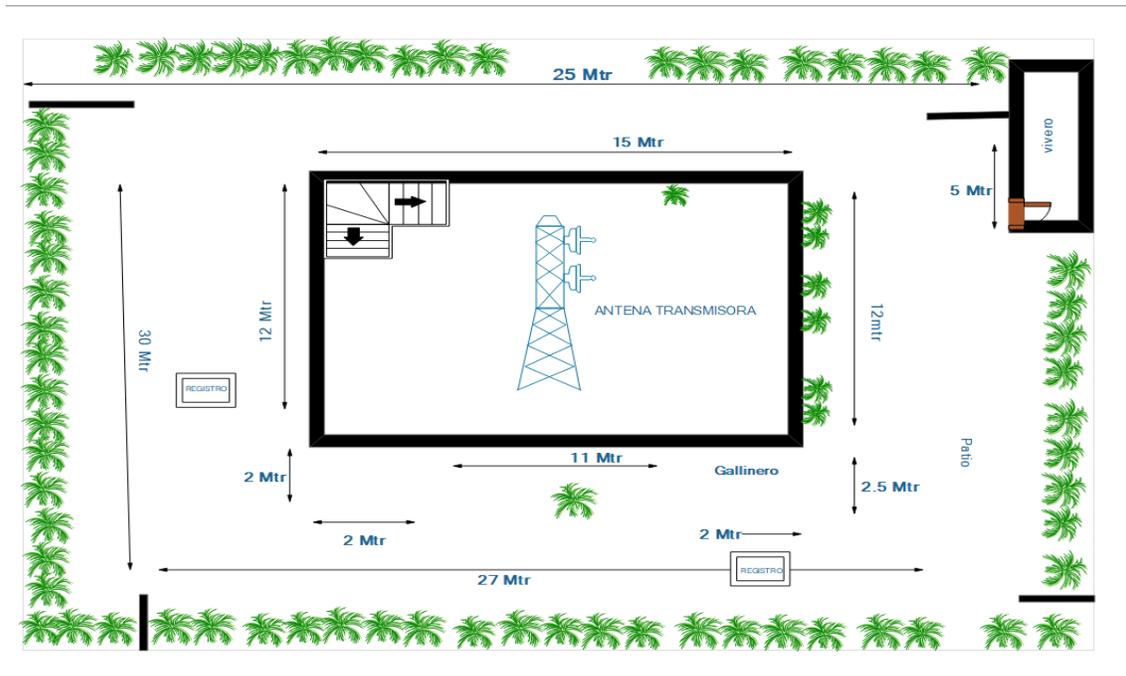
De acuerdo con la guía PMBOK, que contiene las gestiones del proyecto: integración, alcance, tiempo, recursos humanos, comunicaciones, calidad, riesgos, adquisiciones y costos. Además de Inspeccionar el lugar, analizar sitios estratégicos donde se ubicará el sistema electrónico, determinar los dispositivos necesarios para el diseño de implementación, instalar los equipos, configurar el sistema (software), realizar técnicas, recopilar información y documentar.

Con el diseño de la propuesta para implementar el sistema de video vigilancia en las zonas turísticas seleccionadas, se espera proporcionar mayor control sobre las áreas de difícil manejo de seguridad, las personas que ingresan y salen, por último, al espacio de recreación y esparcimiento.

Planos

Plano de la antena del tejado como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Plano de antena



Productos y materiales

Existen productos que se requirieren para el desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Identificación de las necesidades

Modelo	Función del cable en este KIT
PRO-150-12	Módulo fotovoltaico de 150 W, 12 Vcd.
LS2024EU	Controlador Solar 24Vcd, 20 ^a
PL-110-D12	Acumulador ciclo profundo VRLA 12 Vcd, 110 Ah.
SS-PBL-V5	Montaje para poste/torre para paneles solares.
TP-SW5G-24	Switch PoE IEEE802.3af/at 10/100/1000MB, 12-36 Vcd para aplicaciones solares
PROSECA-01	Conector sencillo MC-4.
EIPCB407330SDK	Gabinete metálico, lámina galvanizada para baterías.

Los materiales que se utilizan para el proyecto cumplen con la calidad requerida.

Tabla 2. Identificación de los equipos

Materiales	Cantidad
Cable UTP Categoría 6	1 bovina
Conectores RJ45	5 botes
Canaletas	2 piezas
Rosetas CAT 6 Adhesivo	20 piezas
Jacks	20 piezas
Pinza ponchadora	1 pieza
Multímetro Digital	1 pieza
Probador Tester Cable Red Utp	1 pieza
Generador de tonos	1 pieza
Taladro Rotomartillo Truper Prof. ½ 550W	1 pieza
Tornillo para concreto 3/16x1-1/4”	3 cajas
Juego de 8 desarmadores	1 juego
Guía metálica	1 pieza
Brocas de alta velocidad	1 juego
Arco de segueta	1 pieza
Etiquetadora Portátil industrial	1 pieza

Diagrama de la implementación

Energía Solar para Cámaras IP PoE y Enlace Inalámbrico como se muestra en la figura

2.

Figura 2. Kit solar.

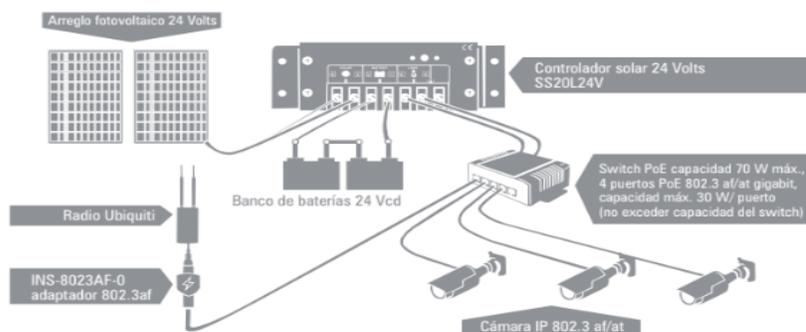
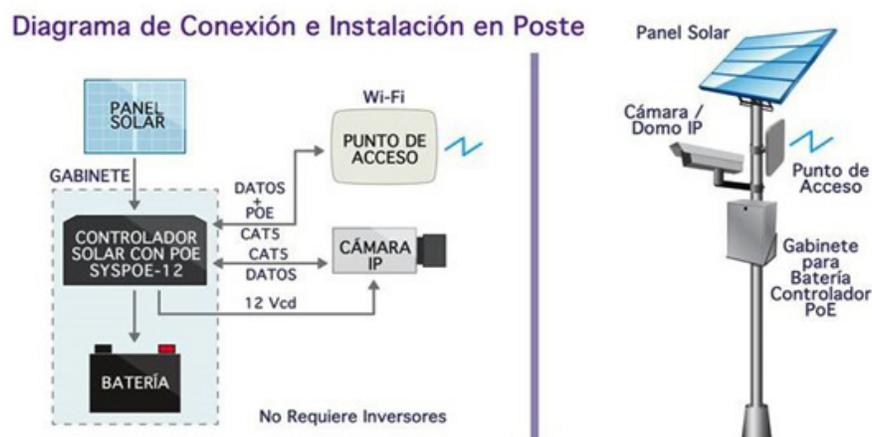


Diagrama de conexión e instalación en poste sistema de vigilancia como se muestra en la siguiente figura 3.

Figura 3. Diagrama de conexión en poste.



RESULTADOS

Imágenes de instalación de cámaras

Acercamiento a la cámara instalada en poste, del lado izquierdo se observa la antena dirigida a la torre de comunicaciones como se muestra en la siguiente figura 4.

Figura 4. Acercamiento a la cámara instalada en poste.



Imagen de la torre de la comunicación situada en zona como se muestra en la siguiente figura 5.

Figura 5. Acercamiento a la cámara instalada en poste.



Una cámara motorizada puede ser manipulada manualmente desde centro turístico a través de un teclado, también cuenta con la opción de hacer recorridos automáticos programados previamente.

Instalación de la torre, elaborada con tubería gruesa para evitar vibraciones por el viento. Como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Instalación de la torre.



Fotografía de la instalación del último tramo de torre, como se muestra en la siguiente figura 7.

Figura 7. Último tramo de torre.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta que el objetivo fue en un principio, realizar una propuesta para implementar un sistema de vigilancia IP remoto tipo Isla y otro fotovoltaico en zonas turísticas de Tabasco, siempre buscando que el procedimiento operativo sea eficiente y que garantice la seguridad del usuario final, el turista y la población en general. Conforme la metodología PMBOK, con las gestiones: integración, alcance, tiempo, recursos humanos, comunicaciones, calidad, riesgos, adquisiciones y costos; se realizaron tareas previas al inicio del desarrollo del sistema. Por ejemplo, la de integración incluye características de unificación, consolidación y comunicación; cruciales para el proceso controlado. Además, otras actividades como, inspeccionar y analizar sitios estratégicos para el sistema electrónico, determinar dispositivos para diseño de instalación, configurar software, recopilar información y documentar.

La implementación del sistema de vigilancia IP remoto tipo isla, integrado por servicios de internet, voz, datos, fotovoltaico y radio comunicación, refleja una mejor administración, facilita su mantenimiento, representa un incremento de la productividad, disminución en eventos inesperados, comodidad operativa de los trabajadores y en una mejor atención a los turistas.

El complemento acertado que destaca en el proyecto fue la consideración del sistema fotovoltaico, que hace presencia como una alternativa de generación de electricidad, favoreciendo costos y medio ambiente; a través de energías limpias y renovables. Se espera que este trabajo sirva de precedente para otros, y se tomen en cuenta la combinación de elementos de hardware, software y SFV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, P. M., (2013). Manual de instalación de un sistema fotovoltaico. En P. M. Acosta, Manual de instalación de un sistema fotovoltaico (pág. 50). Lima, Perú: publicación.*
- CONEVAL., (2020). Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Informe de pobreza y evaluación 2020. Tabasco. Ciudad de México: CONEVAL, 2020. [https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobrez a_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Tabasco_2020.pdf](https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobrez_a_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Tabasco_2020.pdf)*

INEGI, (2021). *Encuesta Nacional De Seguridad Pública Urbana (junio 2021).*
Comunicado De Prensa Núm. 385/21 19 De Julio De 2021 Página 1/3.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/ensu/ensu2021_07.pdf

Merchán, J. M., (2012). *Diseño e instalación de sistemas de videovigilancia CCTV digitales.*
México: 1ª edición.

Solartechnology., (2007). *Obtenido de solartechnology:*
https://www.solartechnology.com.mx/pdf/Inversores_aislados/Sistemas_Isla.pdf

USO DE MEDIOS ELECTRÓNICOS PARA LA DIFUSIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES EN HOTELERIA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA Y MITIGACIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA

Domingo Román Guillen, Rosario del Carmen Suárez Jiménez,
Aida Dinorah García Álvarez, Jorge Rebollo Meza, Lenin Martínez Pérez

RESUMEN

El estudio tiene como finalidad el análisis de las prácticas sostenibles en el área de hotelería, encontrándose la posibilidad de la adquisición de certificados o distintivos que demuestren y verifiquen que en dicha prestación de servicios existen prácticas amigables con el medio ambiente. Se aplicó una metodología cualitativa indagando en medios electrónicos el panorama global con un abordaje conceptual de la sostenibilidad, prácticas sostenibles y su relación con el hotelería. Posteriormente, se analizó el panorama local en dicha actividad turística que diera cuenta de la realidad o situación en el estado de Tabasco a través de medios electrónicos. Asimismo, se realizaron recomendaciones para que los prestadores de servicio y las políticas gubernamentales tomen acciones que garanticen la actividad de un turismo sostenible en la prestación de los servicios de hospedaje. Así como el uso de medios electrónicos para su difusión.

Palabras Clave: Turismo sostenible, distintivos o certificaciones en hotelería y practicas sostenibles.

Introducción

El turismo es una actividad económica y recreación esencial en el desarrollo de un país con muchos enfoques; de aventura, convivencia con la naturaleza, trabajo, entre otros. Sin embargo, como toda actividad humana tiene un impacto en el medio ambiente, entonces, la sociedad y los gobiernos deben actuar para que esta actividad se siga realizando, pero con un

menor impacto ecológico. Lograr lo anterior, es realizar un turismo sostenible a través de la mitigación de la huella ecológica. Este término fue establecido en 1996 por Mathis Wackernagel y William Rees, en su libro Nuestra Huella Ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra, información tomada por Aquae, (2021) quien lo define como un indicador o medida del impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza, misma que se representa por medio de la superficie necesaria para producir los recursos y absorber los impactos de dicha actividad.

DESARROLLO

Se debe analizar qué se entiende por sostenibilidad y para comprenderlo, hay que remitirse a la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumiría en el Principio 3ro. de la Declaración de Río (1992): Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (Balbis et al, 2015). Asimismo, para su análisis, el ámbito de desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económico y social. Lo relevante fue que, por primera vez se consideró el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica (Balbis et al, 2015). Entonces, actualmente no se puede disociar el desarrollo económico separado del desarrollo social y el cuidado del medio ambiente.

La actividad turística requiere de acciones prioritarias del Estado, es evidente que se encuentra en una notable recuperación, lo que implica un área de oportunidad para potenciar el crecimiento económico desde ella. En este sentido, en el primer trimestre de 2022 el Producto Interno Bruto Turístico creció 22.1% (Secretaría de Turismo [SECTUR], 2022). Asimismo, el Indicador Trimestral del PIB Turístico reportó un incremento de 7.4%; mientras que el PIB Nacional creció 3.6%, comparados con el cuarto trimestre de 2021. (Secretaría de Turismo, [SECTUR] 2022a) reflejando un mayor crecimiento en esta actividad respecto del resto.

Lograr un Turismo Sostenible, implica generar buenas prácticas que permitan fomentar el cuidado del medio ambiente. Por lo consiguiente, se puede definir que una buena práctica es una acción exitosa considerada una estrategia, modelo o procedimiento que permite

solucionar un problema o aprovechar una oportunidad de manera innovadora que ha sido probada y validada, ha demostrado utilidad y puede ser replicada en diversos contextos (Red Sectorial Estado y Democracia en América Latina y el Caribe, [REDLAC] 2020).

Dentro de los criterios o características definidas por el comité editorial de la REDLAC una buena práctica:

- Es replicable y adaptable. Que contenga una metodología que se pueda repetir a partir de una adaptación contextual
- Tiene un impacto positivo. Debe ser claro en que presenta una mejora en una medida de cambio. El impacto es demostrable en la obtención de un objetivo específico.
- Logra resultados verificables. Debe presentar una sistematización de los resultados demostrable.
- Presenta sostenibilidad. Durabilidad que la acción tiene a largo plazo, donde la practica tendrá que ser institucionalizada asumida e interiorizada por los actores involucrados

Dentro de la caracterización del turismo de nuestro país se identifica que México es conocido en el mundo por sus destinos turísticos “sol y playa”, así como por sus numerosos sitios arqueológicos y coloniales considerados en su mayoría como patrimonio histórico de la humanidad (Guzmán et al, 2016). Lo que permite clarificar un potencial de recursos turísticos que se pueden poner al servicio del turismo local e internacional.

La situación del turismo en nuestro país está en una recuperación posterior a las consecuencias de la pandemia provocada por el COVID-19. En este tenor, en lo que respecta a la ocupación hotelera entre enero y abril, en 70 puntos monitoreados por la Secretaría de Turismo de México ha alcanzado el 52,8%, lo que se traduce en 22,7 puntos más que en el primer cuatrimestre del 2021. Por lo que respecta a los destinos de playa se eleva al 63,8%. Asimismo, los resultados del Monitoreo Hotelero del sistema DataTur muestran que la ocupación fue del 59,4% en abril, frente al 37,3% del año pasado. En los centros de playa el promedio se ubicó en 70% y los destinos urbanos en 50,1%. (González, 2022). Esto implica un alto crecimiento en los destinos de playa implicando una mayor necesidad del cuidado de esos destinos que tienen mayor contacto con la naturaleza.

Dentro de la actividad turística el hospedaje representa un elemento esencial para recibir a los visitantes, en relación a esto en los Censos Económicos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] 2019) una de las actividades con mayor valor agregado censal bruto, son los hoteles con otros servicios integrados que ocuparon el segundo lugar, siendo 9.0%, únicamente por debajo del Comercio al por menor en supermercados con 14.2%. Esto lo resalta como el mayor elemento en grado de importancia no solo en la derrama económica sino por el uso que se hace de este servicio.

Un dato global que expresa la decisión de cómo los visitantes eligen este tipo de servicio lo describe Pashaj (2021) enunciando que el 56% de la generación Z (nacidos entre 1995 y 2010) prefiere reservar en alojamientos verdes o respetuosos del medio ambiente, mientras que el 70% de los viajeros en todo el mundo está más dispuesto a reservar en alojamientos con prácticas de corte ambientalista. Los viajeros que reservan en hoteles verdes suelen quedarse tres días más que otros huéspedes y el 47% está de acuerdo en pagar más por productos sostenibles. Haciendo al turismo con enfoque sostenible un producto viable e incluso atractivo y rentable para los prestadores del servicio de hotelería.

La mejor manera de visualizar que un hotel está comprometido con el cuidado del medio ambiente se realiza a través de obtener certificaciones, mismas que pueden evaluar procesos administrativos, infraestructura física, tratamiento de residuos, prestación de servicios, ambiente laboral o empresarial. Dentro de las principales en el mundo se encuentran según Pashaj (2021):

- LEED. Aplicada a la construcción de edificios sostenibles. ofrece cuatro niveles de certificación y el número de puntos determina cada nivel. De 40 a 49 puntos es certificado, de 50 a 59 es plata, de 60 a 79 es oro y más de 80 puntos es platino.
- Green Globe. Mide empleando auditores externos la sostenibilidad ambiental, social y económica de la empresa de sus asociados y proveedores, con tres niveles de certificación que se podrán alcanzar de manera progresiva.
- TripAdvisor EcoLíderes. Fue creado para reconocer las prácticas de hoteles y B&B (Bed and breakfasts) respetuosas con el medio ambiente. Su mayor beneficio es el reconocimiento especial que recibe el perfil de la propiedad: se agrega un distintivo verificado para demostrar su compromiso con el medio ambiente. Incluye cuatro niveles: bronce, plata, oro y platino.

- Green Key Global. Es una entidad de certificación ambiental diseñada para hoteles y eventos. La clasificación otorga de 1 a 5 llaves siendo esta última la más alta, dependiendo de su nivel de cumplimiento con el programa. Luego de la clasificación inicial, la propiedad recibe orientación sobre cómo mantener y mejorar su nivel de llave.

- Green Tourism Active. Sus evaluaciones incluyen prácticas sostenibles sobre consumo de energía, conservación de recursos hídricos, adquisiciones sostenibles, conservación cultural, prácticas del personal y más. tiene cuatro niveles, Iniciado Green con 35% de aprobación, Líder Green con 60% de aprobación, Campeón Green con 80% de aprobación y Campeón Green con distinción cuando tienen el 90% de aprobación.

- Audubon Green Lodging Program. Certifica propiedades de hotelería, dividiéndose en cuatro etapas: Autoevaluación, donde cada propiedad aprende mejores prácticas y envía una aplicación oficial; Evaluación, donde el equipo de la organización repasa y verifica la aplicación; Verificación, donde un auditor independiente evalúa la propiedad; y Clasificación Ecológica, donde se otorga la certificación y sugerencias para continuar mejorando.

- Green Seal. Es una organización sin ánimo de lucro que emplea programas científicos para motivar a consumidores, compradores y empresas a crear un mundo más sostenible. Incluye tres niveles: bronce, plata y oro.

- EarthCheck. Ofrece una amplia gama de servicios de consultoría, innovación y certificación. Incluye un riguroso proceso que evalúa todas las categorías de alojamiento, desde pequeños albergues y apartamentos con servicio hasta resorts enormes.

- Travelife. Se basa en una evaluación de los sistemas de sostenibilidad, gestión ambiental, derechos laborales y humanos y, la integración de la comunidad desde el punto de vista de proveedores y clientes. Las propiedades pueden recibir una de dos certificaciones, Travelife Oro o Certificado de excelencia Travelife.

MÉTODO

El presente estudio es cualitativo, este sentido Hernández, Fernández, y Baptista, (2014) mencionan que este enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados, no se realiza una medición numérica y el análisis no es estadístico. La indagación trató primeramente de establecer acercamiento al panorama mundial del turismo y la sostenibilidad particularmente, de la hotelería para fundamentar un marco de referencia que dé cuenta de la posibilidad de implementar acciones que permitan el fomento de prácticas sostenibles en esta actividad de hospedaje. Asimismo, en un segundo momento, se analizó el panorama local para proponer medidas de acciones que conlleven al fomento de dichas prácticas amigables con el medio ambiente.

RESULTADOS

En Tabasco el turismo se ha desarrollado con la particularidad que, Villahermosa ha concentrado la mayoría de los servicios de hotelería, en 1981 contaba con 31 hoteles clasificados de la siguiente manera: dos de cinco estrellas, tres de 4 estrellas, 10 de tres estrellas, cuatro de dos estrellas y 12 de una estrella. En 1982 la mayoría de los hoteles en Tabasco eran de clases mediana y superior (Guzmán et al, 2016). Por otro lado, para el año 2006 esta entidad federativa ocupaba el lugar 27 en el contexto nacional en lo que se refiere a la oferta turística que estaba compuesta de aproximadamente 1000 establecimientos turísticos de los cuales el 22.5%, eran hoteles para ese entonces ya poseía una infraestructura hotelera moderna que a nivel nacional representaba el 2.6% en hoteles y el 1.2% en habitaciones. Sin embargo, aproximadamente el 80% del total de la afluencia turística y el 50% del total de la oferta de habitaciones de hotel correspondía a la ciudad de Villahermosa, (Guzmán et al, 2006).

Actualmente, esta forma de crecimiento no ha cambiado, Villahermosa sigue considerándose una ciudad con amplia infraestructura turística, lo anterior se pudo observar porque el mayor número de habitaciones y hoteles disponibles en dos sitios de internet: Hoteles.com y Booking.com recuperaron mayormente hoteles localizados en la capital tabasqueña e incluso no se localizaron en dichos sitios web enlistados hoteles en los municipios de Jonuta, Teapa, Tacotalpa, Frontera, Jalapa, Nacajuca, Balancán y Tenosique.

Tabla 1. Lista de Hoteles con recomendaciones en sitios de internet.

Hotel	Distintivo	Lugar
Tabasco Inn	No	Villahermosa
Hampton Inn by Hilton Villahermosa	No	Villahermosa
Fairfield Inn & Suites by Marriott Villahermosa Tabasco	Pet Friendly	Villahermosa
Hotel Plaza Olmeca	No	Villahermosa
Gamma Villahermosa Centro	No	Villahermosa
One Villahermosa Centro	No	Villahermosa
Villahermosa Marriott Hotel	No	Villahermosa
Hotel Santo Domingo	No	Villahermosa
La Venta Inn Villahermosa Hotel	No	Villahermosa
Viva Villahermosa	No	Villahermosa
City Express by Marriott Paraíso	No	Paraíso
Hotel Báez Paraíso	No	Paraíso
Hotel Madan Cárdenas	No	Cárdenas
reLax Hotelito	No	Cárdenas
Campo sano	No	Huimanguillo
Garden Suites Comalcalco	No	Comalcalco
Estancia los fundadores	No	Comalcalco
Hotel La Isla	No	Jalpa de Méndez
Península Frontera	No	Centla

Nota: Describe hoteles del estado de Tabasco en relación a los distintivos o certificaciones, elaboración propia.

Se enlistaron los 10 hoteles de Villahermosa municipio de centro, considerados los más recomendados en los dos sitios consultados. Por otro lado, en el caso de los municipios distintos al centro, se encontró que únicamente seis municipios tienen distribuidos nueve recomendaciones de hoteles (ver tabla 1). Asimismo, queda claro que en ocho de los 17 municipios no se encontraron recomendaciones de hoteles. De esta muestra únicamente un hotel que se encuentra en la ciudad de Villahermosa municipio de centro y tiene un distintivo o certificación y que precisamente es del área sostenible, debido a que, Pet Friendly caracteriza a aquellas ciudades, establecimientos, empresas o actividades que mantienen una actitud consciente y respetuosa con los animales (Arribalzaga, 2022), es decir, admiten que el dueño y su mascota; perros y gatos, disfruten de los servicios ofertados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observó que en Tabasco no existe en el sector hotelero ningún tipo de certificación o distintivo que demuestre que realiza prácticas sostenibles. Sin embargo, cuenta con una infraestructura hotelera que puede lograr certificaciones distintivas para demostrar que en la localidad se promueve un turismo sostenible y así el sector hotelero dar cuenta que se cumplen prácticas sostenibles. Estas certificaciones o distintivos serán aplicadas a la infraestructura física de los inmuebles donde se prestan los servicios de hospedaje, a la prestación de sus servicios y los procesos administrativos que se realicen en las empresas dedicadas a este servicio. Por otro lado, se puede consolidar como una estrategia de mercadotecnia debido a que dentro del desarrollo del estudio se pudo establecer que existe mayor preferencia de los usuarios por hacer uso de este tipo de servicios cuando demuestran ser amigables con el medio ambiente. Igualmente, se identificó que la única manera por la que se enlista a los hoteles en los sitios de internet es por el carácter económico denominado como ofertas, lo cual no logra tener un mayor compromiso social por parte de los prestadores de este servicio con el cuidado del medio ambiente y por ende la mitigación de la huella ecológica.

- En este sentido, debe existir un programa gubernamental que fortalezca a este sector e incentivar la obtención de certificaciones o distintivos hacia el cuidado del medio ambiente.
- Se debe diseñar un sitio web que permita a los prestadores de este servicio difundir sus prácticas sostenibles acorde a los tipos de servicio que presta, por ejemplo: no es lo mismo un turismo de playa que el prestado en la urbanidad.
- También se requiere colocar de manera pública las certificaciones o distintivos en este rubro que coadyuven a establecer una mayor comunicación con sus usuarios finales y que en Tabasco no sea únicamente el costo lo que defina la preferencia del usuario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquae, (2021).** *Aquae Fundación. Como reducir la huella ecológica.*
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/reducir-huella-ecologica/#:~:text=El%20objetivo%20de%20reducir%20la,la%20naturaleza%20para%20su%20subsistencia>
- Arribalzaga, G., (2022).** *Todo lo que debes saber sobre el concepto Pet Friendly. El popular mx.*
<https://elpopular.mx/ciudadania-y-gobierno/2022/08/11/todo-debes-saber-sobre-concepto-pet-friendly>
- Balbis, M., Gómez, A. y Herrera, A., (2015).** *Buenas Prácticas del Desarrollo Sostenible. Corporación Universitaria Latinoamericana.*
<https://libros.ul.edu.co/index.php/libros/catalog/download/16/3/59?inline=1>
- González, T., (2022).** *Hosteltur. La ocupación hotelera de México alcanza el 53% en el primer cuatrimestre. Monitoreo Hotelero del sistema DataTur.*
https://www.hosteltur.com/152000_la-ocupacion-hotelera-de-mexico-alcanza-el-53-en-el-primer-cuatrimestre.html
- Guzmán, A., Mayo, A., García, V. y Gómez A. I., (2016)** *El sector del turismo en Tabasco. Análisis operativo y perspectiva de la oferta y demanda. México.*
<https://ri.ujat.mx/bitstream/200.500.12107/3995/1/El%2Bsector%2Bdel%2Bturismo%2Ben%2BTabasco%2BAna%CC%81lisis%2Boperativo%2Bpor%2Bperspectiva%2Bde%2Bla%2Boferta%2Bpor%2Bla%2Bdemanda.pdf>
- Guzmán A., Peypoch N., Solonandrasana B., (2006)** *Pronóstico de la demanda turística en Tabasco. Hitos de Ciencias Económico Administrativas. UJAT.*
https://www.researchgate.net/publication/310465100_Pronostico_de_la_Demanda_Turistica_en_Tabasco
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. P., (2014).** *Metodología de la Investigación. McGraw-Hill/Interamericana editores S.A. de C.V. Sexta Edición.*
https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2019). *Censos Económicos.*
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463901839.pdf (inegi.org.mx)

Pashaj L., (21 enero 2021). *Las certificaciones ecológicas más conocidas para tu hotel.*
<https://www.cloudbeds.com/es/articulos/las-certificaciones-ecologicas-mas-conocidas-para-tu-hotel/>

Red Sectorial Estado y Democracia en América Latina y el Caribe., (2020). *Buena práctica de Derechos Humanos.* <https://buenaspracticassddhh.org/que-es-una-buena-practica.html>

Secretaría de Turismo, (2022). *SECTUR 1er. Trimestre de 2022. Comunicado 115/2022*
<https://www.gob.mx/sectur/prensa/pib-turistico-crecio-22-1-en-el-1er-trimestre-de-2022?idiom=es>

Secretaría de Turismo, (2022a). *SECTUR 4º Trimestre de 2022. Comunicado 095/2023*
<https://www.gob.mx/sectur/prensa/pib-turistico-crecio-7-4-en-el-4-trimestre-de-2022?idiom=es#:~:text=El%20titular%20de%20Sectur%20subray%C3%B3,el%20nivel%20observado%20en%202019.>

MEDIO AMBIENTE, INNOVACIÓN DE PRODUCTOS Y DESARROLLO ENERGÉTICO SUSTENTABLE.

Esta obra se terminó de editar el 05 de enero de 2024, en la Universidad Tecnológica de Tabasco, ubicada en Carretera, Villahermosa-Teapa, Km. 14.6, Parrilla II, Tabasco. C.P. 86288, Villahermosa, Centro, Tabasco.

El cuidado estuvo a cargo de los autores, coordinadores, revisores y editores del Departamento Editorial de la
UTTAB.



¡Excelencia académica,
innovación con sentido social!