



Ingeniantes

Año 6, No.2, Vol. 3

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla



CONGRESO AGENDA
Internacional de
INGENIERÍAS 2030
7-8-9-Noviembre-2019

latindex

ISSN 2395-9452



Edición Especial

Ingeniantes

Año 6 / No. 2 / Vol. 3

Información Legal

Ingeniantes, año 6, No. 2, Vol 3. Diciembre 2019 - mayo 2020, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: M.I.I Erika Adrienne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 27 de febrero de 2020.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a stylized, lowercase serif font. The letters are primarily red, with the letter 'i' in the middle being orange. A small orange circle is positioned above the 'i', and a vertical orange bar runs through the center of the 'i'.

Mayo 2020

Directorio

M.C.E. José Roberto Arenas Martínez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Dr. Isidro Rodríguez Montoro

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

C.P. Honorato Pérez Antonio

Subdirector de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Lic. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Dr. Carlos Yossio Nakase Rodríguez

Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México

Ing. Mayra Lizzeth Méndez Oloarte, ITSM, México

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en
cift.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico: revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Coeditor

Lic. Erik Balderas González

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US **SNI**

Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH **SNI**

Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, UACH **SNI**

Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET **SNI**

Dr. Abel García Barrientos, UASLP **SNI**

Dr. David Lara Alabazares, ITSM **SNI**

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM **SNI**

Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ **SNI**

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON **SNI**

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET **SNI**

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET **SNI**

Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ **SNI**

Dr. José Luis Marín Muñiz, CV **SNI**

Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT **SNI**

Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM **SNI**

Dra. María Cristina López Méndez, ITSM **SNI**

Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT

Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ

Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET

Dr. Juan Carlos Gonzalez Hernández, ITM

Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa

Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR

M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR

M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, ITSM

M.S.C. Irahán Otoniel José Guzmán, ITSM

M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM

M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM

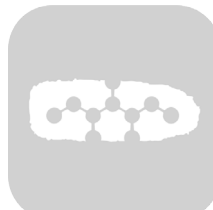
Ingeniantes



03



09



14



22



30



37

Contenido

Técnicas de recolección inteligente de productos apícolas aplicadas en colmenas de la región de Misantla _____ 03

José Ignacio Morales Duran; Margarito Landa Zárate; Sandra Guadalupe García Aburto; Marieli Lavoignet Ruiz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Base de conocimiento de prácticas agrícolas codificada en Deep Learning para la producción de Lima persa _____ 09

Lidia Arely Díaz Hernández; Carlos Alexis Cano Villa; Roberto Ángel Meléndez Armenta; Eddy Sánchez de la Cruz; Gregorio Fernández Lambert, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Estudio de la localización de una planta productora de xilitol en México, a partir de olote de maíz bajo un esquema de desarrollo sostenible _____ 14

Mónica Paulina Lozano Rodríguez; Margarito Landa Zárate, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla; , María Guadalupe Aguilar Uscanga, Tecnológico Nacional de México / I. T. de Veracruz- UNIDA

Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México _____ 22

Javier Gómez Aguilar; Gustavo Martínez Castellanos; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla; María Guadalupe Aguilar Uscanga, Tecnológico Nacional de México / I.T. de Veracruz-UNIDA

Estudio de localización y distribución de planta para una maquiladora de productos textiles de la región de Misantla, Ver. _____ 30

César Argüelles López; Edwin Daniel Méndez Cruz; Miguel Ángel López Ramírez; Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Ligia Herrera Franco, Investigador independiente

Estrategia de implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2G en la planta piloto del ITVER _____ 37

Yerania Salinas Sarabia, Instituto Tecnológico Superior de Misantla; María Guadalupe Aguilar Uscanga; Javier Gómez Rodríguez, Instituto Tecnológico de Veracruz



44



51



56



64



70



76

Compensador de temperatura para bolsa de solución dializante _____ 44

Israel Robles Hernández; Isabel Lagunes Gómez; Ana María Pérez Maldonado, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Mianzta

Detección de fallas en baleros en generadores de baja potencia mediante señales vibroacústicas _____ 51

David Granados Lieberman; José Roberto Razo Hernández; José Guadalupe Barrera Valdés; Fernando Jurado Pérez, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Sistema trazador de curvas voltaje, corriente con ajuste y estimación de parámetros usando propuesta metodológica _____ 56

Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Universidad Politécnica de Puebla

Detección de la enfermedad "Mancha de hierro" en hojas del cafeto utilizando Redes Neuronales Convolucionales _____ 64

Balzhojt Roldán Ortega; Cecilia Irene Loeza Mejía; Instituto Tecnológico Superior de Mianzta; Rajesh Roshan Biswal, ITESM / Campus Guadalajara

Selección de beneficiarios de apoyo en sector gubernamental basada en técnicas bayesianas. Caso de estudio: Comisión Nacional Forestal _____ 70

Luis Armando Rodríguez Aguilar; Gabriel Grosskelwing Núñez; Roberto Ángel Meléndez Armenta; Jorge Cruz Salazar, Instituto Tecnológico Superior de Mianzta

Sistema experto para predecir la deserción escolar con Inteligencia artificial académico 76

Aarón Montiel Rosales; Nayeli Montalvo Romero, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Técnicas de recolección inteligente de productos apícolas aplicadas en colmenas de la región de Misantla



Colaboración

José Ignacio Morales Duran; Margarito Landa Zárate; Sandra Guadalupe García Aburto; Marieli Lavoignet Ruiz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

RESUMEN: La apicultura es una actividad pecuaria la cual reporta ingresos económicos a la región de Misantla, en dicha actividad el producto que se obtiene básicamente es la miel y sólo algunos cuantos apicultores extraen dos o más productos, llevándolo a cabo de manera rústica o artesanal, obteniendo un mínimo de aprovechamiento de sus colmenas. En éste trabajo, se presenta una revisión de las técnicas de recolección inteligente de productos apícolas no explotados en la región de Misantla, los cuales son: el propóleo y polen, a través de un análisis exploratorio y descriptivo, se pudo identificar la deficiencia de recolección de los productos antes mencionados.

La metodología de la investigación comprende dos etapas, identificación del tipo de colmena de la región para su explotación comercial, así como identificación de las técnicas para la recolección de productos derivados de la apicultura.

PALABRAS CLAVE: Apicultura, recolección inteligente, aprovechamiento, producción artesanal.

ABSTRACT: Beekeeping is a livestock activity which reports economic income to the Misantla region, in this activity the product obtained is honey and only a few beekeepers extract two or more products, carrying it out in a rustic or artisanal way, obtaining a minimum use of their hives. In this work, a review of the techniques of intelligent collection of untapped bee products in the region of Misantla is presented, which are: propolis and pollen, through an exploratory and descriptive analysis, the collection deficiency could be identified of the products previously affected.

The research methodology includes two stages, identification of the hive type in the region for commercial exploitation, as well as the identification of techniques for the collection of products derived from beekeeping.

KEYWORDS: Beekeeping, intelligent collection, use, artisanal production.

INTRODUCCIÓN

La cría de abeja ha estado presente desde el México prehispánico, en el inicio con la *Melipona beecheii* y a mediados del siglo XX se introdujo la *Apis mellifera ligústica* [1], con este cambio la actividad adquirió una mayor importancia técnica y económica, ya que los productores adoptaron nuevas formas de manejo, mayor nivel de ingreso monetario y respondieron a la demanda del mercado internacional [2].

Apicultura, actividad que se refiere a la crianza de abejas y obtención de productos recolectables tales como: miel, jalea real, el polen, la cera, el propóleo, entre otras [3].

En el estado de Veracruz, la apicultura es una de las principales actividades que se realizan en el sector agropecuario, debido a la producción de productos re-colectables apícolas de alta calidad, son apreciados en Estados Unidos de América y en diversos países de Europa por sus propiedades nutritivas, aroma, sabor, color y calidad [4]. Teniendo una producción anual de 61.6 toneladas [5].

En el municipio de Misantla se practica esta actividad generalmente en unidades de producción artesanal a pequeña escala, la cual proporciona beneficios económicos a los productores. La rentabilidad que genera es un elemento importante en la estrategia económica y de vida de las familias del medio rural [6]. De acuerdo con [7] mencionan que el ingreso por venta de miel, los salarios y el valor de la compra de insumos, equipos y materiales, son los principales rubros del efecto multiplicador del ingreso que genera esta actividad sobre la región.

Los apicultores de la región tienen un mercado de productos limitado, debido a su sistema de producción aun artesanal, quedando expuestos a mayoristas los cuales monopolizan un solo derivado de la actividad el cual es la miel, estableciendo el precio por producto dejando un margen de ganancia escaso, poniendo en riesgo próximas cosechas por falta de recursos para reinvertir en producción [8].

Esta situación deriva de la falta de manejo y practica de técnicas de recolección inteligente apícolas, las cuales dan al apicultor la ventaja y versatilidad de la obtención completa de productos producidos pero no extraídos de las colmenas en la región de Misantla, dejando aun lado los ingresos que estas mismas generan en los mercados locales o regionales, fundando una mayor fuente de ingresos y asegurando recursos para poder reinvertir en futuras cosechas. Los usos más comunes de estos productos son [9].

- Miel: Utilizada como alimento, medicina, cosméticos y artículos de tocador, así como para combinar con productos industrializados cereales y productos alimenticios.
- Cera de abejas: se emplea en cosmética, artículos de tocador, farmacéuticos, abrillantadores y velas.
- Propóleo: se emplea como medicina y suplemento dietético.
- Polen: suplemento dietético.
- Jalea Real: Productos de cosmética y tocador.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

La metodología utilizada (Figura 1) para el presente trabajo consta de tres etapas las cuales se integran por una revisión literaria, una selección de técnicas, así como la aplicación de dichas en el tipo de colmena que predomina en la región.

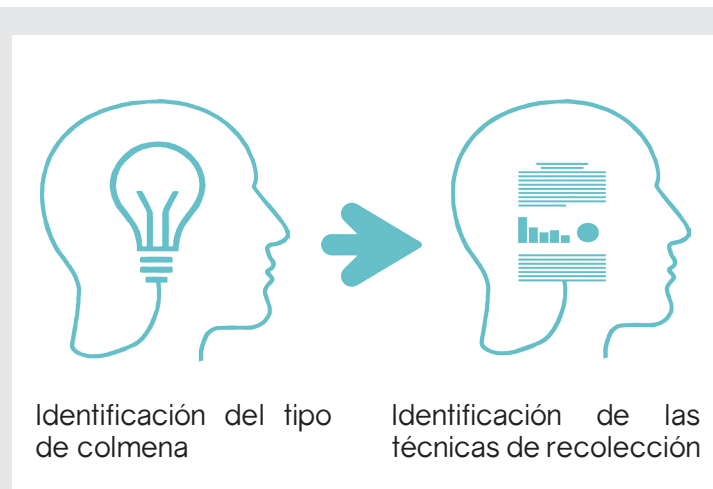


Figura 1. Metodología utilizada

Situación actual

La colmena es el habitáculo de las abejas y el enjambre o colonia que vive en ella. Estas colmenas pueden resguardar hasta 80.000 ejemplares, separados en: obreras, zánganos y la abeja reina [10].

En el municipio de Misantla los apicultores utilizan las colmenas racionales, las cuales son construidas por el hombre como albergue del enjambre, del tipo móvil construidas con cuadros móviles en su interior donde se sitúan los panales permitiendo su explotación sin la destrucción del nido de cría [9].

[11] existen muchas variantes de las colmenas móviles, pero la mas utilizada por los apicultores de la región es la Langstroth es una colmena de crecimiento vertical por el uso de las alzas, por lo cual el crecimiento de la colmena durante la temporada es hacia arriba, su característica peculiar es la facilidad de embonar con una idéntica medida entre alzas y cajón de cría.



Figura 2. Colmena Langstroth Fuente: Internet

Ventajas:

- Es la más utilizada.
- Posibilidad de modular su volumen.
- Cuadros de la cámara de cría y alza son iguales, facilitando las operaciones de manejo.
- La extracción de la miel es fácil.
- Duración prolongada.
- Posibilidad de cosechar miel monofloral.
- Limpieza fácil.
- Control de la población.
- Tamaño de la piquera variable.

La colmena Langstroth por su estructura no permite la extracción de otros productos recolectables que no sean la miel, dejando fuera el aprovechamiento integral que puede representar esta colmena con las técnicas de recolección inteligente, por medio de ellas se es posible la obtención de los productos propóleo y polen, generando 2 mercados en los cuales los apicultores pueden incursionar obteniendo un crecimiento con los ingresos económicos que generan por temporada, asegurando inversiones para próximas cosechas.

Tras la falta de aprovechamiento integral de productos producidos pero no recolectado, se identificaron dos causas probables: falta de conocimiento y adaptación de colmena; por ello se insentivó una investigación literaria con objetivo de identificar las principales técnicas de recolección apícolas, las cuales prometen la obtención de producto no obtenido asegurando la integridad de la colonia en el momento de la extracción. Por ello se presentan las técnicas reportadas en la literatura.

El hombre a través de su iniciativa y creatividad ha buscado la forma de simplificar todas las actividades que realiza dentro de su labor productiva, independientemente a cuál sea su objetivo [12]. Dentro de algunos de los objetivos de la aplicación de técnicas para la simplificación del trabajo se encuentran los siguientes:

- Reducir al mínimo el esfuerzo requerido para llevar a cabo una determinada tarea, ya sea mental o física.
- Mejorar el funcionamiento organizacional, a través de métodos tales como la redistribución de funciones, la eliminación, reducción y combinación de fases de una actividad o labor y la nivelación o tabulación del trabajo.
- Optimización y aprovechamiento de los recursos disponibles.
- Mejorar el flujo o secuencia del trabajo dentro de todas las áreas que la integran.
- Reducción del número y el costo de las operaciones administrativas, mediante la disminución de trámites y la combinación, unión ó eliminación de formas impresas.
- Mejor aprovechamiento del recurso humano, al reducir desplazamientos y tiempos innecesarios.

- Mejor atención al público, al disminuir el tiempo dedicado a las actividades de trámite de documentos y trabajo rutinario.

- Renovación del interés del empleado por su trabajo, resultado de una comprensión más clara del objetivo de su tarea y de su relación con otros trabajos dentro de la oficina.

A continuación se describen los resultados de la búsqueda literaria respecto a las técnicas inteligentes utilizadas para la recolección de polen y propóleo:

El polen apícola es el resultado de compactar el polen de las flores con néctar y sustancias salivares de abejas obreras, en las corbículas de sus patas traseras, tiene valor como alimento saludable; contiene el 30% de proteínas, el 30% de carbohidratos, el 5% de grasas y muchos elementos menores, revelándose potencialmente como una fuente útil de nutrición. El polen se recolecta fácilmente por medio de las trampas colocadas en la entrada de las colmenas. Cuando las abejas pasan a través de la malla los gránulos que contienen en las cestas de polen de sus piernas traseras caen en un contenedor, del cual se recoge [5].

Trampa caza polen

Una trampa caza polen es un dispositivo que permite retener los granos de polen, transportados en el último par de patas de las abejas obreras sostenidos en pelos a modo de cestillas, hacia el interior de la colmena, consiste en una lámina de plástico por donde pasarán las abejas dejando la mayor parte de su cargamento en el recipiente colector de la trampa y que el apicultor cosecha [13].

Las rejillas se construyen de tal forma que no dañen el cuerpo de la abeja al atravesarlos, los de metal no se utilizan ya que al construirlos pueden quedar aristas que amputan las alas o las patas. Al cosechar polen se debe tener en cuenta que cuando las abejas se encuentran con la trampa y como les supone una dificultad tienden a derivar hacia las colmenas laterales, para evitarlo se ponen todas las trampas en colmenas seguidas.

También es importante dejar por la entrada una ventilación suficiente para evitar la asfixia de las abejas; cuando el apicultor coloca las trampas caza polen se observa que las abejas disminuyen el tamaño de las bolas de polen de forma instintiva, con esto demuestran la importancia que para la colonia supone el aporte de polen. Si la rejilla retuviera todo el polen, las abejas no podrían alimentar correctamente la cría, la colonia se debilitaría en poco tiempo o moriría [14].

Tipos de trampa para polen

Existe en la actualidad un número de trampas que facilitan la recolección del polen, se clasifican según la posición de la rejilla con respecto a la colmena se clasifican en [14]:

- Entrada (delanteros) colocados en la piquera habitual.
 - Bajeras (o inferiores) instalados bajo el cuerpo, sustituyendo la base de la colmena.
- Encimeros (o superiores) colocado en lugar del cubre paneles, sobre el cuerpo o sobre el alza. Este necesita que la entrada este cerrada y que las abejas se acostumbren a entrar por arriba (lleva poco tiempo que las abejas se acostumbren) recomendado en sitios húmedos.

Elementos de trampa de polen

Consta de los siguientes elementos:

- Rejilla.
- Cajón-colector.
- Tubos escapa zánganos.
- Malla fija.
- Tejadillo.

Composición: la parte básica es la rejilla que está hecha generalmente de material plástico con agujeros de 5 mm o de 4,5 mm según la especie de abeja que tengamos, debe tener el suficiente diámetro como para que una obrera los atraviese y ser lo bastante estrechos como para que se desprendan las bolitas de polen que transporta en la cara externa de las patas posteriores.

Bajo la rejilla, un tamiz horizontal con mallas de 3 mm. deja pasar el polen al cajón colector que lo recoge. El apicultor recolecta periódicamente el contenido del cajón.

Los caza polen tienen a los lados unos agujeros de mayor diámetro para permitir a los zánganos que están en el interior de la colmena puedan salir al campo, de no existir se quedarían en la entrada impidiendo que las abejas puedan pasar por la rejilla. El tejadillo sirve para evitar que la lluvia moje la trampa.

Las abejas melíferas recogen la resina y la goma de las partes deterioradas de las plantas. Esta sustancia pegajosa, generalmente de color marrón, se llama propóleos. Al igual que la miel, cambia su composición de acuerdo a las plantas que las abejas visitan. Las abejas usan el propóleos para mantener sus nidos secos, protegidos de las corrientes de aire, seguros y limpios. El propóleo es utilizado para tapar todas las hendiduras donde podrían desarrollarse micro-organismos, y su aceite volátil es una especie de desodorante antiséptico. Las abejas utilizan el propóleos como material de construcción para regular el tamaño de las entradas de los nidos y para hacer la superficie más lisa, facilitando su tránsito; para barnizar el interior de los alvéolos antes de que la reina ponga los huevos, garantizando una ubicación higiénica, fuerte e impermeable para el desarrollo de la larva; para embalsamar los cuerpos de ratones y otros depredadores demasiado grandes, que las abejas no pueden alejar de sus nidos y que al descomponerse son una fuente de infecciones [15].

Trampa para propóleo

La obtención de propóleo se obtiene a la llegada de la primavera, se colocan las trampas de propóleo, iniciando así la tarea de las abejas la cual consiste en: cubrir agujeros hasta la llegada de la gran mielada, mientras está dura cesan completamente las abejas el acarreo, reanudándolo cuando pasa, se estima que antes de la gran mielada las abejas logran cubrir en un 30% la trampa finalizando el verano logran cubrir un 70% es el momento en el que se cosecha el producto. Para la obtención de este se utiliza una trampa de propóleo, las trampas se basan en fomentar el instinto de las abejas de cerrar con propóleo todos los espacios que tienen una medida que no les permita ingresar a la colmena y puedan ser ducto de entradas de aire, agua o insectos invasores [16].

Formas de recolección de propóleo

- Mallas

Deben de ser colocadas sobre la última alza, se utiliza una "tela mosquitera" para que las abejas cubran poco a poco los agujeros con propóleo traído de los árboles o recogido de colmenas despobladas. También se utilizan mallas plásticas con características de agujeros de distintos tamaños.

Para separar el propóleo de la malla se deben de introducir a frigoríficos y después de varias horas se vuelve quebradizo el producto y se desprende con facilidad, de no ser así permanece blando y como su característica es viscosa no sería posible desprenderlo.

- Raspado

Se obtiene mediante la extracción y raspado de los marcos, del cubre panel o entre tapa o de cualquier sitio donde las abejas lo hayan depositado de forma espontánea, se debe de extraer de la forma más higiénica para evitar contaminaciones.

- Colector inteligente

Fue denominado así en Brasil, lo que se pretende, es despertar el instinto de las obreras de "cubrir grietas" y de esa manera "invitarlas" a depositar el propóleo en los agujeros del colector.

El colector consiste en sustituir los laterales de las alzas por varios listones de madera separado por unos milímetros que se pueden retirar con facilidad para cosechar el propóleo depositado y son sustituidos por otros, el frontal y trasera del alza se mantienen; el instinto de las abejas es tan pronto se detectan aberturas, se encarga de cerrarlas tomándolo como actividad de importancia, cerrar los agujeros para las abejas significa evitar invasiones o ultrajes, como proteger del agua y el viento.

RESULTADOS

Tras la revisión literaria se pueden definir que el tipo de colmena utilizados por los apicultores de la región de Misantla es tipo Langstroth; y las técnicas factibles para el modelo de colmena utilizada se especifican a continuación:

1. Trampa caza polen.

a) Tipo entrada delantera colocada en la piquera habitual.

Elementos:

- Rejilla.
- Cajón-Colector.
- Escapa zánganos.
- Malla fija.
- Tejadillo.

2. Trampa para propóleo.

a) Tipo malla y colector inteligente superior.

Elementos:

- Malla.
- Marco de madera.

3. Trampa para propóleo.

a) Tipo malla y colector inteligente lateral.

Elementos:

- Malla con marco de madera lateral.
- Lateral de madera completo.

CONCLUSIONES

Los productores de la región de Misantla se encuentran sub-aprovechando la producción apícola, debido a que solo extrae la miel para su comercialización, dejando fuera el aprovechamiento de otros productos como lo son: el polen y el propóleo. Con la implementación de las técnicas inteligentes y realizando la adaptación a la colmena tipo Langstroth se visualiza un área de oportunidad para el aprovechamiento integral y una mayor remuneración económica a los apicultores de la región, estas técnicas tienen la característica que para la recolección de estos productos no es necesario abrir el compartimento principal de la colmena, minimizando el stress de la colonia sin afectar la sobrevivencia de la colonia.

Se plantea como un trabajo futuro el rediseño de la colmena tipo Langstroth para evaluarla en campo para poder medir de forma cuantitativa el aprovechamiento de los productos derivados de la apicultura; y de esta forma poder evaluar el nivel de rentabilidad del mismo, así como también poder realizar los ajustes o mejoras que se deriven como consecuencia del monitoreo del mismo.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por proporcionar su apoyo a través de una beca económica a los estudiantes de esta maestría, fundamental para poder cursar la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Munguía, G. M. (2013). *La experiencia de organización de los pequeños productores de miel de América Latina a partir del trabajo conjunto de EDUCE y Kabitah en Campeche, PAUAL. Sistema Producto Miel.*

[2]. Rosales, G. M., & Rubio, H. A. (2010). *Apicultura y organizaciones de apicultores entre los mayas de Yucatán. Estudios de cultura maya.*

[3]. Contreras-Escareño, F. P.-M.-G. (2013). *Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México. Revista mexicana de ciencias pecuarias.*

[4]. Francisco J. Güemes-Ricalde, C. E.-G.-G. (2004). *La apicultura en la península de Yucatán.*

[5]. SIAP. (2010). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.*

[6]. Calderon G, G. (2014). *Rentabilidad y alternativas de comercialización de los pequeños productores de miel en Campeche, México. XIX Congreso.*

[7]. Magaña Magaña, M. A. (2012). *Estructura e importancia de la cadena productiva y comercial de la miel en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.*

[8]. Roque, P. J., Fernández, L. G., & Tiburcio, A. I. (2016). *Enfoque de estudio territorial apoyado de sistemas de información geográfica para definir territorios apícolas en Misantla.*

[9]. Soto-Muciño, L. E.-B. (2017). *Situación apícola en México y perspectiva de la producción de miel en el estado de Veracruz. Revista de estrategias del desarrollo empresarial.*

[10]. Hernández, J. R. (2015). *Manual de prácticas de apicultura I.*

[11]. MVZ. Adriana Correa Benítez, D. N. (2018). *Buenas prácticas pecuarias en la producción de miel.*

[12]. Herrera Monterroso, E. H. (2007). *Herramientas para la simplificación del trabajo.*

[13]. Gil, S. (2008). *Apicultura.*

[14]. Cobo Ochoa, A. (2010). *El polen recogida, manejo y aplicaciones (1.ª edición). Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.*

[15]. IFAD. (2016). *Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Apicultura.*

[16]. Alviz Martin, V., Calleja Bueno, L., & Pereira Martin, M. (2010). *Visión actual de la apicultura en España.*



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Base de conocimiento de prácticas agrícolas codificada en Deep Learning para la producción de Lima persa



Colaboración

Lidia Arely Díaz Hernández; Carlos Alexis Cano Villa; Roberto Ángel Meléndez Armenta; Eddy Sánchez de la Cruz; Gregorio Fernández Lambert, Instituto Tecnológico Superior de Misantra

RESUMEN: Presentamos la construcción de una base de conocimiento con datos de prácticas agrícolas y parámetros ambientales en el cultivo de Lima persa. La base de conocimiento fue procesada utilizando el software WEKA, y se encontró que, para validación cruzada con Percentage Split para 217 registros correspondiente a 66.66%, combinando los clasificadores AttributeSelectedClassifier+Multiplayer, la correlación resultante es de 99.65% de instancias correctamente clasificadas, con error medio absoluto de 895.79 kg, error absoluto relativo de 9.57%. Este resultado previo, genera confianza para futuras predicciones simulando escenarios de producción de Lima persa.

PALABRAS CLAVE: Selección de proveedor. Cadena de Suministro Alimentaria (CSA). Inteligencia Artificial. Red Neuronal Artificial. Deep Learning.

ABSTRACT: We present the construction of a knowledge-base with data of agricultural practices and environmental parameters in the cultivation of Persian Lima. The knowledge-base was processed using the WEKA software, and it was found that for cross-validation with Percentage Split for 217 records corresponding to 66.66%, combining the AttributeSelectedClassifier + Multiplayer classifiers, the resulting correlation is 99.65% of correctly classified instances, with mean absolute error of 895.79 kg, relative absolute error of 9.57%. This result generates confidence in future predictions for simulating production scenarios of Persian Lima.

KEYWORDS: Supplier selection. Food Supply Chain (FSC). Artificial Intelligence. Artificial Neural Network. Deep Learning.

INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro implica personas, organizaciones, métodos los cuales interactúan en actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados, dentro de procesos con diversos intereses que en ella intervienen. En este sentido, la sincronización de los diversos agentes involucrados en la cadena de

suministro requiere una planificación colaborativa con el fin de realizar un trabajo coordinado para satisfacer las exigencias de un mercado cada vez más competitivo. De aquí que, la sincronización de la cadena de suministros agroalimentaria es una tarea compleja que comprende acciones orientadas a lograr que los diferentes eslabones de las cadenas concurren en un esquema de trabajo armónico, con el objetivo común de lograr mejores ventajas y niveles de competitividad.

La gestión de la cadena de suministro de productos frescos (CSPF) se caracteriza por una incertidumbre en los requerimientos de su mercado y por una oferta en el volumen y la calidad de fruta de sus diversas fuentes de suministro, a saber: centrales de abasto y/o huertos agrícolas, dentro de las cuales, el factor perecedero y la estacionalidad de la fruta, hacen más compleja la búsqueda de la fruta fresca que atienda las necesidades del mercado. Este contexto de abastecimiento de fruta fresca incrementa la dificultad para encontrar productores-proveedores que satisfagan los requerimientos en volumen de fruta y calidad de la misma en el momento que así son requeridos, haciendo que la cadena agroalimentaria sea compleja en predecir y controlar.

Para atender la problemática de abastecimiento de fruta fresca, aunado a tener plantaciones propias, es característico que las empresas se apoyen en intermediarios, realicen compras de cosecha, y en otros casos, ubiquen centros de acopio en regiones productoras. Sin embargo, también es común que el productor agrícola tome la decisión de entregar al comprador del mejor postor.

La importancia de seleccionar al proveedor en la industria agroindustrial de frutos frescos radica en la relación como socios-miembros que asegure el abastecimiento de fruta fresca para mejorar la fluidez de los materiales a partir de una sincronización de sus operaciones con los niveles de calidad y volúmenes de fruta que ingresen al proceso. Esta premisa, es un buen principio para la gestión de la calidad de las salidas.

La selección y evaluación de proveedores es un tema bastante reportado en la literatura científica en diferentes periodos y campos industriales [7]; [8]; [3]. Sin embargo, para el campo agrícola toma mayor atención con el desarrollo de la inteligencia artificial con técnicas como la Lógica Difusa [5], las Redes Neuronales Artificiales [1], y técnicas integradas como sistemas de apoyo a la decisión y sistemas expertos [9]. Estos avances están enmarcados en la primera década por una fuerte literatura de modelos matemáticos como apoyo a la selección de proveedores en diferentes sectores industriales [4]. Esta muestra de trabajos describe el uso individual o integrado de técnicas considerando diversos criterios de decisión

para el proceso de evaluación y selección de proveedores como se muestra en [9]; [8], que aportan criterios comúnmente utilizados para la selección de proveedores en empresas de transformación. Sin embargo, en cadenas alimentarias, los criterios son más específicos al problema que se atiende [6].

El dinamismo improductivo del sector agrícola ha capturado la atención de académicos e industriales, en mayor grado, en los últimos veinte años para resolver problemas del campo agrícola utilizando técnicas de la Inteligencia Artificial. Este artículo, propone la construcción de una base de conocimiento relacionada con el suministro histórico de fruta fresca a una exportadora de Lima persa, con el objetivo evaluar la calidad de suministro de los diferentes proveedores en calidad de fruta exportable y calidad nacional.

MATERIAL Y MÉTODOS

El abastecimiento de fruta lo determina el departamento de compras de la empresa exportadora. La fruta es solicitada a los diferentes proveedores de Lima persa, los cuales pueden ser proveedores de huertos propios, proveedores locales, proveedores regionales y proveedores foráneos. Posteriormente una persona experta evalúa visualmente la calidad de fruta, clasificándola en calidades descritas por la empresa. Una vez que la fruta fresca se encuentra en la empresa se realiza el proceso de selección, lavado, secado, encerado y empaqueo de Lima persa.

La Figura 1 describe el enfoque de análisis apoyado del software Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)® V. 3.8 demo. Se dispone una base histórica de Lima persa de cada proveedor, con la cual se evalúa de acuerdo con la experiencia de un panel de expertos. La base histórica se conforma de 23 proveedores de Lima persa. Los valores históricos de proveeduría del año 2016 a 2019. Dicha información se procesa en WEKA, combinado clasificadores de dos enfoques distintos, para obtener la predicción de confiabilidad de cada proveedor; el resultado describe los kilogramos de fruta exportable.

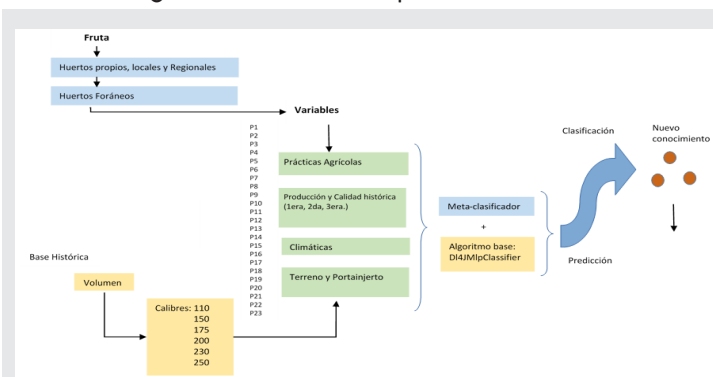


Figura 1. Enfoque de estudio basado en WEKA.

A partir de (Gerón, M. 2018. Evaluación de proveedores para la empacadora limones Mónica, S.A. de C.V, Basado en la técnica Deep Learning).

RESULTADOS

La Tabla 1 describe una sección de la base de conocimiento generada a partir de la proveeduría histórica de 23 fuentes de proveeduría de Lima persa. Esta base de conocimiento tiene la característica de describir prácticas agrícolas que dan origen a la fruta que se ingresa a la empresa: Foliar, Nutriente, Herbicida, entre otras relacionadas con el tipo de tierra en la que se encuentra el cultivo de la Lima persa, así como las condiciones climáticas prevalecientes durante el cultivo del cítrico. La base se construye como se describe en la Figura 2.

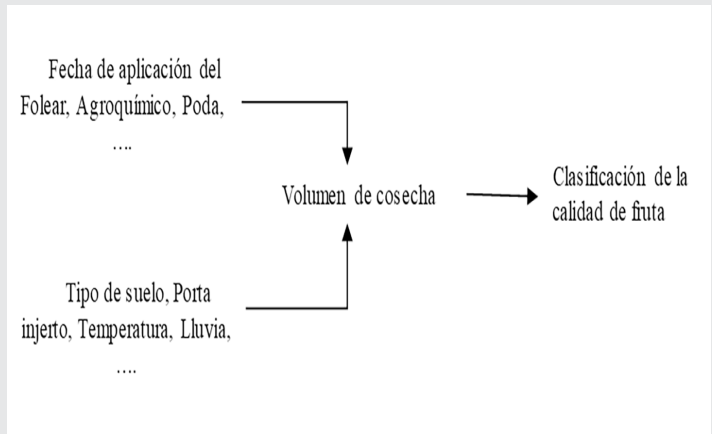


Figura 2. Integración del conocimiento en la base de datos WEKA® 3.8 demo. Elaboración propia

Tabla 1. Corte de 19 registros de la base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica 2016-2019, que alimenta al Soft WEKA: Parte 1

Registro	Fecha Semanal	Tipo de Suelo	Porta Injerto	Temporada	m.s.n.m	Edad Promedio	Arboles en producción	Tipo de Poda	Temperatura	Milímetros de lluvia	Foliar(lt/ha)
1912	SEM 11 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estresante	29	39	0
1913	SEM 22 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estresante	33	50	400
1914	SEM 22 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	32	47	400
1915	SEM 23 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	30	206	0
1916	SEM 24 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	31	180	0
1917	SEM 28 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	31	214	400
1918	SEM 29 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	29	209	400
1919	SEM 30 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	28	178	400
1920	SEM 31 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	29	215	400
1921	SEM 33 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	30	267	400
1361	SEM 33 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	29	245	400
1362	SEM 34 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	28	229	400
1363	SEM 35 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	29	241	400
1364	SEM 36 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estética	28	255	400
1365	SEM 37 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estética	27	232	400
1366	SEM 38 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estética	29	222	400
1367	SEM 39 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estética	27	243	400
1368	SEM 40 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estética	27	211	400
1369	SEM 41 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estética	28	178	400

Elaboración propia.

Tabla 1: Corte de 19 registros de la base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica 2016-2019, que alimenta al Soft WEKA: Parte 2.

Nutriente (gr/ rbol)	Herbicida (lt/ha)	Kg Cosecha	kg fruta exportable	C110	C150	C175	C200	C230	C250	kg fruta nacional
500	200	2478	1632	10	33	11	19	16	7	846
500	0	29891	26554	17	123	276	381	542	223	26554
500	0	32825	30600	4	86	300	578	731	101	2225
0	200	9120	7905	1	22	96	118	157	71	1215
0	200	45630	41497	2	939	302	519	537	142	4133
0	200	183396	144449	95	1894	2835	2234	1116	323	38947
0	200	30915	23885	6	201	448	505	209	36	7030
0	200	94947	47668	48	1182	677	643	227	27	47279
0	200	124896	80444	108	1449	1149	1121	519	386	44452
0	200	50067	35598	314	782	578	257	112	51	14469
0	200	11501	3944	0	92	78	47	11	4	11498
0	200	5480	4420	42	79	65	42	21	11	1060
0	200	30830	26095	283	530	380	182	111	49	30827
0	200	6228	5032	51	87	74	54	24	6	1196
0	200	4842	4250	31	67	75	45	19	13	592
0	200	4280	3570	6	44	63	52	38	7	710
0	200	5465	4335	8	57	70	67	38	15	1130
250	0	6347	5593	21	81	85	88	40	14	754
0	200	625	425	1	6	6	8	4	0	200

Elaboración propia.

Variables de izquierda a derecha: Fecha Semanal, Tipo de Sueño, Porta Injerto, Temporada, m.s.n.m, Edad Promedio, Árboles en producción, Tipo de Poda, Temperatura, mm de lluvia, Foliar(lt/ha), Nutriente (gr/árbol), Herbicida (lt/ha), Kg Cosecha, kg fruta exportable, Calidades de fruta, Kg fruta nacional.

Esta base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica alimenta al programa WEKA. Para la clasificación se utilizan dos criterios de muestreo: la Cross-Validation con 10 carpetas (folds) y Percentage Split a 66.66%. El procesamiento de la información permitió clasificar, procesar, asociar y visualizar la base de datos histórica de proveedores con los criterios a analizar. La combinación de clasificadores fue de la siguiente manera: se seleccionó uno a uno cada clasificador ensamblado (en WEKA meta-clasificador) y cada uno se combinó con una Red Neuronal Artificial Perceptrón Multicapa (en WEKA DI4JMlpClassifier), para producir una exhaustiva búsqueda de patrones. Cada uno utiliza un meta algoritmo que aprende según las salidas de los clasificadores en los que se basa. En términos generales partiendo de los datos se construyen n clasificadores distintos. Las salidas de estos se usan como atributos de un nuevo clasificador. La Tabla 2 muestra los resultados, que se han distinguido con el Meta-clasificador Attribute Selected Classifier Multiplayer Perceptron con validación cruzada con Percentage Split de 99.65%, con error medio absoluto de 895.79 kg. Este error es comparado con el error reportado en la expertix de productores con 1300 kg a 1800 kg por hectárea cultivada.

Tabla 2: Reporte de validación WEKA.

meta clasificador	Función	validación cruzada										validación cruzada											
		Conjuntos de entrenamiento	Error promedio	Error absoluto promedio	Error absoluto máximo	Error absoluto mínimo	Error porcentual promedio	Error porcentual máximo	Error porcentual mínimo	Mediana	Moda	Varianza	Desviación estándar	Conjuntos de entrenamiento	Error promedio	Error absoluto promedio	Error absoluto máximo	Error absoluto mínimo	Error porcentual promedio	Error porcentual máximo	Error porcentual mínimo	Mediana	Moda
Attribute Regression	MultiLayerPerceptron	0.3407	13456.3268	23445.5879	127.916	425.375	212	783	0.8274	4936.8959	7385.4315	52.735	68.448	77	252								
Attribute Selected Classifier	MultiLayerPerceptron	0.0765	264.624	1331.5389	97.296	212.791	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.376	35.848	77	252								
Bagging	MultiLayerPerceptron	0.0765	9988.3201	14829.4565	95.242	97.276	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.448	53.724	77	252								
C4.5rules/Selection	MultiLayerPerceptron	0.3301	11758.5325	16789.1364	132.276	309.383	212	783	0.8983	4835.9518	5789.8202	45.189	48.224	77	252								
NearestClassiferOptimizer	MultiLayerPerceptron	0.0765	10747.6209	15871.9653	102.504	102.106	212	783	0.8457	1356.8433	1632.1721	118.188	118.103	77	252								
NaiveBayes	MultiLayerPerceptron	0.0765	10747.6209	15871.9653	102.504	102.106	212	783	0.8457	1356.8433	1632.1721	118.188	118.103	77	252								
NaiveBayes	MultiLayerPerceptron	0.1667	10479.3243	15348.1483	100%	100%	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.448	53.724	77	252								
RandomCommittee	MultiLayerPerceptron	0.1311	10670.291	15689.4515	101.874	100.983	212	783	0.8983	4835.9518	5789.8202	45.189	48.224	77	252								
RandomizedPerceptronClassifier	MultiLayerPerceptron	0.1029	1317.291	1686.1363	93.138	17.076	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.376	35.848	77	252								
RandomSubspace	MultiLayerPerceptron	0.0765	9489.724	1376.1762	92.206	14.574	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.376	35.848	77	252								
RandomSubspace	MultiLayerPerceptron	0.0765	9489.724	1376.1762	92.206	14.574	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.376	35.848	77	252								
Vote	MultiLayerPerceptron	0.1667	10479.3243	15348.1483	100%	100%	212	783	0.9989	1532.2515	1384.5116	0.448	53.724	77	252								
WeightedMajorityClassifier	MultiLayerPerceptron	0.3301	11758.5325	16789.1364	132.276	309.383	212	783	0.8983	4835.9518	5789.8202	45.189	48.224	77	252								

Elaboración propia.

Estos resultados proporcionan la confianza para simular escenarios con base al enfoque que se describe en la Figura 1, de la siguiente forma: El sistema de apoyo a la decisión se alimenta de los valores-registros proporcionados por el citricultor relacionados con variables de entrada – el Tipo de Suelo, Porta Injerto, Temporada de cosecha, los m.s.n.m en que se ubica el huerto, la Edad Promedio de los árboles en producción, el número de árboles en producción, el Tipo de Poda practicada al árbol, la Temperatura promedio prevaleciente en el periodo de cultivo, el promedio de los mm de lluvia durante el periodo de cultivo, los lt/ha de Foliar utilizados a cada árbol, los kg/árbol de Nutriente aplicados a cada árbol, los lt/ha de Herbicida aplicados al huerto. Las variables de salida son los Kg Cosecha, los Kg fruta exportable, Calidades de fruta, y los Kg fruta nacional.

CONCLUSIONES

Se construye una base de conocimiento que registra las variables de: Fecha Semanal, Tipo de Suelo, Porta Injerto, Temporada, m.s.n.m, Edad Promedio, Árboles en producción, Tipo de Poda, Temperatura, mm de lluvia, Foliar(lt/ha), Nutriente (gr/árbol), Herbicida (lt/ha), Kg Cosecha, kg fruta exportable, Calidades de fruta, Kg fruta nacional, para el cultivo de Lima persa. El entrenamiento se realiza con el 66.6% de los datos con validación cruzada con Percentage Split. La correlación resulta en 99.65%, con error medio absoluto de 895.79 kg, error absoluto relativo de 9.57%.

Estos resultados de validación generan la confianza para predicciones en la simulación de escenarios de producción de Lima persa, bajo la actual base de conocimiento. El seguimiento a estos resultados es el diseño de un sistema de apoyo a la decisión para estimar la calidad de Lima persa en huertos de temporal.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación es financiada por el proyecto TECN M Clave: 7165.19.P.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Chun Ching Lee, y C. Ou-Yang. (2009) *A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process*, *Expert Systems with Applications*, 36, 2961-2970.

[2] Desheng Wu. (2009) *"Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network"*, *Expert Systems with Applications*, 36. 9105-9112.

[3] Gaikwad, Lokpriya, and Vivek Sunnapwar. (2019). *"Supplier Evaluation and Selection in Automobile Industry."* *Industrial Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84383>.

[4] Hakan Kagnicioglu C. (2006) *A fuzzy multiobjective programming approach for supplier selection in a supply chain*, *The Business Review*, Cambridge, Vol. 6, Num. 1, 2006.

[5] Fernández L. G., Alberto A. A. Lasserre, Marco M. A., Constantino G. M. S., Blanca O. I. R., Catherine Azzaro-Pantel. (2014) *An expert system for predicting orchard yield and fruit quality and its impact on the Persian lime supply chain*, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 33, Pages 21-30, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.03.013>.

[6] Fernández L. G., Alberto A. L., Catherine Azzaro-Pantel, Marco A. M. A., Rubén P.V., María del Rosario P. S. (2015) *Behavior patterns related*

to the agricultural practices in the production of Persian lime (Citrus latifolia tanaka) in the seasonal orchard, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 116, Pages 162-172, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.007>.

[7] Saman, Hassanzadeh Amin. y Jafar Razmi. "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation", *Expert Systems with Applications*, 36, 8639-8648, 2009.

[8] Stević, Željko. (2017). *"Criteria for Supplier Selection: A Literature Review International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA) Criteria for Supplier Selection: A Literature Review."* *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA)* 19 (1): 23-27.

[9] Sung Ho Ha and Ramayya Krishnan. (2008) *A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain*, *Expert Systems with Applications*, 34. 1303-1311.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Estudio de la localización de una planta productora de xilitol en México, a partir de olote de maíz bajo un esquema de desarrollo sostenible

RESUMEN: El xilitol es un edulcorante natural no calórico, contiene un poder edulcorante similar a la sacarosa, pero con un valor calórico inferior (2.4 kcal), además el xilitol tiene propiedades terapéuticas tales como: anti-cariogénico, independiente de la insulina, y fija el calcio en los huesos, entre otros. En el Instituto Tecnológico de Veracruz se han realizado estudios sobre el mejoramiento del proceso de producción de xilitol a partir de: olote de maíz, bagazo de sorgo y caña de azúcar, obteniendo rendimientos ($Y_{x/s}$) de: 0.56, 0.58 y 0.67 g xilitol/g xilosa, respectivamente. En un estudio realizado se encontró que en el 2018 la demanda de xilitol en México fue de 876.94 toneladas/año y que en México no se produce. Uno de los residuos más adecuados para producir xilitol en México es el olote de maíz, ya que en el 2018 se generaron 4.2 millones de toneladas. Lo cual haría factible la instalación de una planta productora de xilitol en el país. Con la implementación de la metodología de puntos ponderados se determinó que el estado de Sinaloa y específicamente el municipio de Los Mochis es el lugar idóneo para la localización de una planta de xilitol, debido a que cuenta con el 22% de la producción nacional.

PALABRAS CLAVE: Xilitol, olote de maíz, rendimiento, Optimización, demanda.



Colaboración

Mónica Paulina Lozano Rodríguez; Margarito Landa Zárate, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla; , María Guadalupe Aguilar Uscanga, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz- UNIDA

ABSTRACT: Xylitol is a natural non-caloric sweetener belonging to the group of polyalcohols with sweetening power similar to sucrose but with a lower caloric value (2.4 kcal), 40% less than sucrose (4 kcal). Coupled with this, xylitol has therapeutic properties, for example, it is anticariogenic and insulin independent, it fixes calcium in the bones, and prevents respiratory problems. In the Veracruz Institute of Technology, studies have been carried out for more than ten years on the improvement of the process of xylitol production from agro-industrial waste (sweet sorghum and sugarcane bagasses, corn cob), obtaining yields ($Y_{x/s}$) between 0.56, 0.58 and 0.67 g xilitol/g xylose, respectively. In one study, it was found that in 2018 the demand for xylitol in Mexico was 876.94 tons per year, but no xylitol is produced nationally. The appropriate residue to produce xylitol is corn cob; already in 2018, 4.2 million tons were generated, the state of Sinaloa being the first producer nationwide, with 22% of the total, making this state and Los Mochis an ideal location for the first xylitol producing plant.

KEYWORDS: Xylitol, corn cob, yield, optimization, demand

INTRODUCCIÓN

Los edulcorantes se pueden clasificar de diferentes formas: por su origen: naturales y artificiales, por su estructura; carbohidratos, polialcoholes, glucósidos, proteínas y otros, por su valor nutritivo: nutritivos y no nutritivos, por su valor calórico: dietéticos, no dietéticos. Basándose en esa clasificación el xilitol se puede considerar como un edulcorante, natural, no calórico, perteneciente al grupo de los polialcoholes y de bajo valor calórico. El xilitol es un polialcohol de cinco átomos de carbono, que cuenta con el mismo poder edulcorante que la sacarosa, pero posee un contenido calórico de 2.4 Kcal/g comparado con 4 Kcal/g de la sacarosa [1], se encuentra naturalmente en pequeñas cantidades (menos de

0.9g/100g), en varias frutas y vegetales que constituyen parte de la dieta humana (ciruela amarilla, fresa, coliflor, frambuesa, berenjena, lechuga, espinaca, cebolla, zanahoria, plátano, castaña, olote de maíz levadura de cerveza) [2]. Entre sus propiedades fisicoquímicas, se presenta que es un sólido cristalino en forma de cristales ortorómbicos o en una forma meta-estable como cristales monocíclicos. Cuenta con un calor de disolución negativo de -36.6 (cal g⁻¹ a 25°C), solubilidad de 63(%DS), peso molecular de 152.15 g mol⁻¹ y un punto de fusión entre 92-96° C. Es un compuesto altamente estable en solución y en condiciones normales de procesamiento de alimentos [3]. Estas propiedades son importantes para el ser humano por los beneficios a la salud que se han reportado: prevención de caries [4], metabolismo independiente de la insulina, favorece la fijación del calcio en los huesos ya que su uso produjo el incremento en la densidad ósea debido a la habilidad del xilitol de promover la absorción intestinal del calcio [5]. Acción antimicrobial contra gérmenes: Esta propiedad es enfocada a los estudios realizados para la otitis media que es la inflamación del oído medio, donde se realizaron pruebas a niños donde se demostró que el xilitol previene el desarrollo de la otitis media con una dosis diaria de 8.4 – 10 g de xilitol al día por un periodo de 2 a 3 meses [6].

Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de productos diferentes y de distintas marcas que contienen xilitol para múltiples propósitos, a continuación se enlistan productos que contienen xilitol: solución para lavados nasales, dulces, gomas de mascar, enjuague bucal, pasta de dientes, edulcorante en polvo y mermeladas [7]. Debido a estos diversos usos la demanda internacional de xilitol ha aumentado constantemente en un 6% anual a causa de los importantes beneficios siendo el principal consumidor el mercado de alimentos. Se registran dos factores importantes para el aumento del consumo uno los problemas de salud, que impulsan el crecimiento del mercado de edulcorantes alternativos y otro es el aumento de la conciencia de los productos químicos libres de azúcar de bajas calorías obtenidos orgánicamente. Según lo reportado por Diptarka Dasgupta [8] a nivel mundial, el xilitol tiene un vasto mercado que comprende una demanda anual de 161.5 millones de toneladas métricas (MMT) equivalente a un valor de US \$ 670 millones en 2013, y se pronostica que alcanzará los 250 MMT para 2020, casi 1.5 veces su requerimiento actual con un mercado global valor de US \$ 1 mil millones.

La producción industrial de xilitol está basada en la hidrogenación catalítica de xilosa derivada principalmente de residuos agroindustriales. Este proceso requiere del uso de alta presión (20 atm) y temperatura (400°C), e involucra varios pasos de purificación, lo cual tiene un impacto en el precio final. Alternativamente, el xilitol puede ser producido por la vía biotecnológica, que puede ser más económica, al utilizar condiciones ami-

gables de presión y temperatura, y muy pocas etapas de purificación donde las enzimas o microorganismos actúan específicamente sobre la conversión de xilosa a xilitol [9].

A lo largo de los últimos años se ha presentado un aumento en el interés por el uso de los residuos agroindustriales (lignocelulósicos) en diferentes industrias. Esta tendencia se argumenta ya que tiene sus orígenes en el bajo costo y la elevada abundancia y disponibilidad de estos residuos a nivel mundial, unido a la necesidad de minimizar el deterioro medioambiental provocado por la disposición de los mismos. Las principales investigaciones han estado dirigidas a desarrollar tecnologías que los utilicen como materias primas en la producción de biocombustibles, pulpas, papel y productos químicos de nueva generación y alto valor agregado [10].

La biotecnología permite la bioconversión de residuos agroindustriales en productos de alto valor en el mercado a través de procesos de extracción directos o de transformación por química o microbiológica [11]. En uso de subproductos agroindustriales ha tenido un aumento en el interés de la preservación de la calidad del medio ambiente, al considerar el desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales. La búsqueda de materias primas de bajo costo y fácil adquisición que puedan ser utilizados como sustratos fermentables (fuentes de C o N) constituye uno de los retos más interesantes de la biotecnología [10]. La gran disponibilidad de residuos agroindustriales en México (alrededor de 100 millones de toneladas por año) tales como: el bagazo de caña, paja de arroz, mazorca de maíz, bagazo de sorgo dulce, olote de maíz hace de ellos una materia prima que puede ser convertida a productos con valor agregado por rutas biotecnológicas como lo es el xilitol. Estos residuos agroindustriales, están constituidos principalmente de lignina, hemicelulosa y celulosa, en donde la hemicelulosa es el principal sustrato a degradar para obtener la xilosa que es la materia prima para producir el xilitol [12]. El xilitol tiene una participación del 12% del mercado total de polioles y se prevé que el crecimiento se triplique.

La empresa líder en la fabricación de xilitol es Dupont Danisco, ubicada en China, Estados Unidos y Finlandia; en segundo lugar se encuentra Xylitol Canada Inc, posteriormente esta DFI Corp en Estados Unidos, Nova Green Inc en Canadá y Shandong futaste en China. [8].

México no participa como productor a nivel nacional e internacional, pero sí, como un consumidor potencial en aumento. Por lo que es importante realizar estudios que determinen la factibilidad técnica para construir plantas comerciales de xilitol en México, partiendo en el entendido de que una de las partes más importante en la implementación de plantas es su localización. [13].

Realizó un estudio de factibilidad para la creación de una centro de capacitación ocupacional de la empresa SEDICOM en Ecuador, en donde aplicó el método de puntos ponderados y el estudio de mercado para la localización óptima de la planta. Así también Corriolo[14] aplicó esta misma metodología para la localización de la presa "Carlazo" en Bolivia, donde se determinó la macro y la micro localización de esta presa.

Partiendo de la disponibilidad de materia prima en el país y además que el Instituto Tecnológico de Veracruz cuenta con la tecnología y el desarrollo experimental sobre el proceso de la producción de xilitol a partir de olote de maíz [15]. Se establece el presente trabajo teniendo como objetivo principal determinar la localización de la primer planta productora de xilitol en México, considerando dos aspectos principalmente: 1) Un estudio de la demanda de xilitol en México y la disponibilidad de la materia prima, 2) La determinación de la macro y micro localización de la planta, todo esto considerando un esquema de desarrollo sostenible es decir, que los residuos generados de la cosecha del maíz y de la planta de producción se utilicen como insumos para generar nuevos productos de alto valor agregado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio técnico

El presente estudio permite analizar el proceso de producción xilitol para ver su factibilidad técnica en lo que se refiere a: equipamiento (que comprende identificar los equipos y la maquinaria), las materias primas y las instalaciones necesarias para llevar a cabo de la mejor manera el proceso. El estudio técnico comprende la determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, la ingeniería del proyecto y el análisis organizacional [16].

Proceso de producción

El proceso de producción es el procedimiento que se lleva a cabo en donde los insumos son transformados en productos mediante las ciertas tecnologías. Para generar el diagrama del proceso de producción de xilitol se contó con los datos obtenidos del grupo de trabajo del laboratorio de bioingeniería en el Instituto tecnológico de Veracruz, donde Castañon [15] y Gastelum [7]. utilizando como materia prima olote de maíz con el microorganismo *Candida tropicalis* IEC51TV con las siguientes condiciones de operación: 30° C, 250 rpm y pH 5.0.

Análisis de la demanda

Simón Andrade [17]. define demanda como "La cantidad de bienes o servicios que el comprador o consumidor está dispuesto a adquirir a un precio dado y en un lugar establecido, con cuyo uso pueda satisfacer parcial o totalmente sus necesidades particulares o pueda tener acceso a su utilidad intrínseca".

La demanda también es conocida como el consumo nacional aparente (CNA), que es la cantidad de determina-

do bien o servicio que el mercado requiere, y se puede expresar con la Ecuación 1 [16]:

$$\text{Demanda} = \text{Producción nacional} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones} \quad \text{Ec. 1}$$

Para realizar este cálculo se utilizó la base de datos del INEGI, donde se obtuvieron los registros históricos de las importaciones y exportaciones en México a partir del año 2000, donde se comenzó a comercializar el xilitol en México. A partir del empleo del método de Winters (suavización exponencial triple) se pronosticará la demanda de los próximos 10 años.

Análisis de la materia prima:

La materia prima que se ocupa en este proceso es el olote de maíz debido a que se realizó una evaluación de diversos sustratos para la producción de xilitol, y por su contenido de hemicelulosa en dicha evaluación el olote de maíz resultó ser el mejor sustrato para la producción de xilitol, además de ser una materia prima que se produce en México. Una vez determinada la demanda del producto, se necesario conocer la disponibilidad de la materia prima en el país. Por ello se realizó una investigación sobre la producción nacional, importaciones y exportaciones de maíz blanco, mediante la base de datos del Centro de Información de Mercados Agroalimentarios, para determinar la disponibilidad de maíz en anual se estableció la Ecuación 2.

$$\text{Disponibilidad de materia prima} = \text{producción anual} + \text{importaciones anuales} - \text{exportación anual} \quad \text{Ec 2}$$

Determinada la cantidad de toneladas de maíz disponible en México, se realiza el cálculo de la disponibilidad de olote de maíz disponible en el país, del cual se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote [18].

Determinación de la Macro y Micro Localización

Para la determinación de la macro localización de la planta, esta se hará de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima que se utilizará para la producción de xilitol, que es el olote de maíz, y se pretende ubicar en el estado que ocupe el primer lugar de la producción nacional de maíz [19]. Además se consideraran otros estudios como el análisis de los diferentes lugares donde es posible ubicar el proyecto, buscando establecer un lugar que ofrece los máximos beneficios, los mejores costos, es decir en donde se obtenga la máxima ganancia, o el mínimo costo unitario [20]. En este estudio, se toman en cuenta dos aspectos la macro y la micro localización, pero a su vez se deben analizar otros factores, llamados fuerzas locacionales, que de alguna manera influyen en la inversión de un determinado proyecto [20]. Para seleccionar la macro localización del proyecto se consideraran los siguientes factores, ubicación de los consumidores o usuarios, localización de la materia prima y demás insumos, vías de comunicación y medios de transporte, infraestructura de servicios públicos, políticas, planes o

programas de desarrollo, condiciones climáticas, ambientales, suelos [21]. Seleccionada la macro localización es importante seleccionar la ubicación específica de la planta (es decir la micro localización), utilizando el método cualitativo por puntos, que consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios, para ello se utilizó la metodología de Baca [16] para obtener el micro localización de la planta.

RESULTADOS

En el grupo de investigación del Instituto tecnológico de Veracruz, se han registrado diversos estudios acerca de la producción de xilitol mediante el proceso biotecnológico, utilizando la levadura *Candida tropicalis* IEC51TV, y diversos sustratos, en la Tabla 1 se resumen estos trabajos, así como de otros autores con olote de maíz y se indica las condiciones en las que llevaron a cabo el proceso así como sus resultados obtenidos.

La Tabla 1, muestra la comparación entre modo de fermentación, tipo de medio, rendimientos y productividades de xilitol y rendimiento de xilitol respecto al teórico. Se observa que los resultados obtenidos en medio HMM concentrado en lote alimentado fueron mayores con respecto a otros medios de operación obteniendo un rendimiento de 0.70 gg-1, utilizando olote de maíz.

Tabla 1. Resultados obtenidos para la producción de xilitol

Referencia	Medio	Modo de operación	YP/S (gg-1)	QP(gL-1h-1)	n(%)
Gastelúm, 2007	HBC	L	0.49	0.13	54
		LA	0.56	0.15	61
		L	0.31	0.1	34
Ortega et al., 2011	HS	L	0.419	-	46
Ping et al., 2013	HMM concentrado	LA	0.7	0.46	76
Infanzón, 2015	HBSD	LA	0.55	0.091	61
Castañón et al., 2014	MSHBC	LA	0.57	0.27	62
	HBSD	L	0.12	0.04	13

Proceso de producción de xilitol:

Actualmente en el laboratorio de bioingeniería en el Instituto Tecnológico de Veracruz desarrolla un proceso que abarca la entrada de la materia prima hasta la obtención de los cristales de xilitol, como se muestra en la Figura 1.

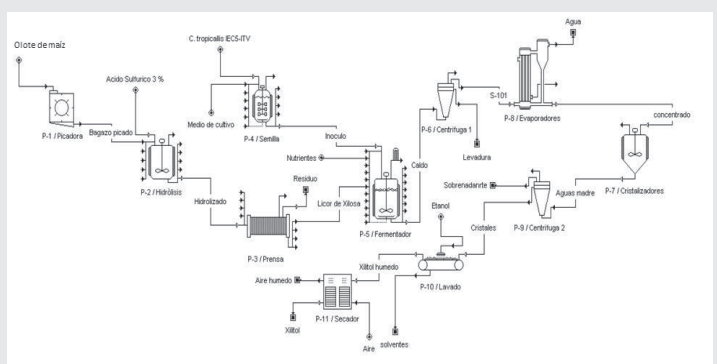


Figura 1. Proceso de obtención de xilitol a partir de olote de maíz en la Planta Piloto.

El proceso comienza con la entrada de materia prima para dirigirse a picadura, donde el olote de maíz es sec-

cionado en trozos pequeños para posteriormente pasar a la hidrólisis acida donde se liberan los azúcares que están contenidos en la hemicelulosa del olote, una vez realizada la hidrólisis, el hidrolizado pasa a la prensa y el residuo olote de maíz sale del proceso; el licor de xilosa obtenido pasa a la fermentación donde se agregan nutrientes y la semilla de inóculo (es la adaptación del microorganismo utilizado y el medio de cultivo), en la fermentación se transforma el licor de xilosa mediante el microorganismo *Candida tropicalis* IEC51TV, para obtener el caldo de xilosa, que pasa a la centrifugación donde se realiza la separación del caldo de xilosa con la levadura, para dar paso a la evaporación, eliminando la mayor cantidad de líquido presente en el caldo de xilitol, obteniendo el concentrado de xilitol, la siguiente parte del proceso es la cristalización donde el concentrado de xilitol es transformado en aguas madre, cuyo contenido es mayoritariamente de cristales de xilitol, posteriormente pasa nuevamente a la centrifuga para realizar la separación de las aguas madres, retirando el sobrenadante y obteniendo los cristales de xilitol, por último se elimina cualquier tipo de impureza en los cristales mediante el uso de etanol, realizando el lavado se obtiene xilitol húmedo, que pasa a la etapa de secado con aire para posteriormente ser envasado.

Análisis de la demanda

El Análisis de la demanda consiste en determinar y medir cuales son los factores que afectan los requerimientos de mercado con respecto un bien o servicio, además busca conocer la factibilidad del producto para satisfacer la demanda, realizada la investigación sobre los datos históricos del consumo de xilitol, los cuales arrojaron que México no participa como productor ni como exportador de xilitol, participa en el mercado como importador, datos que se tomaron como la demanda de xilitol, puesto que en México solo se consume xilitol de importación.

La Figura 2 muestra el comportamiento de la demanda de los años 2008 a 2018 (periodo 1-11), donde se puede observar que no se cuenta con una tendencia lineal, ya que en los primeros años 2008-2014 (periodos 1-7), se observa el crecimiento irregular de la demanda ya que en esos años comenzaba a tomar auge el xilitol en México y comenzó a incrementar, para que en los años 2011-2013 (periodos 4-6), se mantuviera un consumo de aproximadamente 800 toneladas, en el año 2014 decreció el consumo por debajo de las 800 toneladas, pero para los años 2015-2018 (periodos 8-11) incremento la demanda ya que la cantidad de toneladas importadas se situó por arriba de las 800 toneladas durante tres años consecutivos. Por lo que se llevó a cabo un pronóstico mediante el método de Winters, donde se observó el crecimiento de la demanda de los años 2019 a 2030 (periodos 12- 23), donde se muestra un crecimiento lineal pero no acelerado, ya que en el año 2019 se pronostica una demanda de 889.96 toneladas, así como para el 2030 una demanda de 1055.24 toneladas, siendo así el crecimiento de 165.28, dicho crecimiento de la demanda es pronosticado mediante el método Winters.

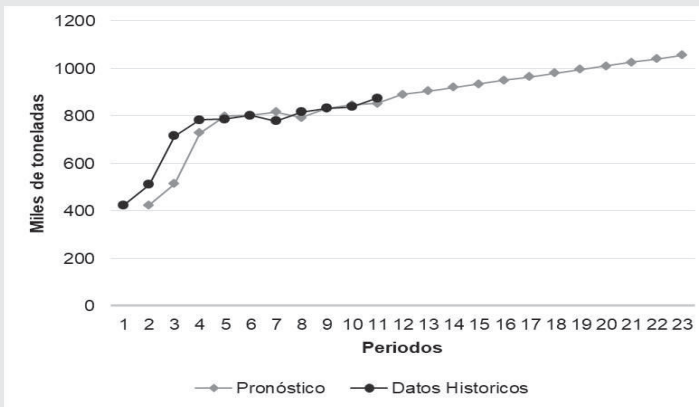


Figura 2: Datos históricos de la demanda

La CONADESUCA reporta que el consumo de productos no calóricos ha crecido a una tasa anual promedio de 10.7%, ya que el consumo de JMAF y otros productos como los no calóricos se han incrementado en los últimos años a una tasa mayor que el consumo de azúcar, logrando consolidarse en más de un cuarto del mercado de edulcorantes en México, con estos datos y la proyección el mercado de los edulcorantes no calóricos van creciendo exponencialmente, por lo que la producción de xilitol en México va a la alza y resulta factible la puesta en marcha de una planta productora de xilitol.

Análisis Materia prima:

Por otro lado, se realizó la formula menciona anteriormente en la cual se determinó la disponibilidad de maíz blanco en México en un periodo comprendido de 2009 -2018, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla No. 2. Disponibilidad de maíz blanco en México de 2009-2018

Maíz blanco disponible para la obtención de olote (millones de toneladas)									
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
20.913	16.959	21.418	22.595	21.044	21.323	24.094	23.991	23.714	24.516

Una vez determinada la disponibilidad de maíz blanco se obtuvo la cantidad de olote de maíz disponible, donde se obtuvieron los siguientes datos históricos de la producción de olote de maíz en los últimos 4 años, en donde se observó que la producción de olote se encuentra por encima de los 4 millones de toneladas anualmente (como se muestra en Figura 3).

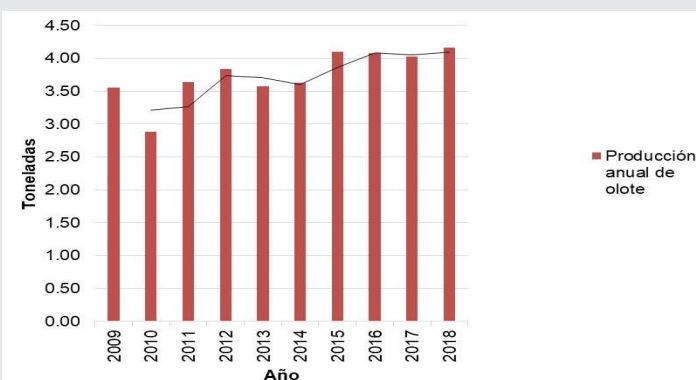


Figura 3: Toneladas de olote de maíz (datos históricos)

Considerando la obtención de olote del último año registrado (2018) podemos hacer una proyección o cálculo de la cantidad de xilitol que se puede producir, si se utilizará toda la disponibilidad de olote en México, el rendimiento de xilitol obtenido por [15] y la composición lignocelulósica que tiene el olote de maíz [22]. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Balance general de producción de xilitol a partir de olote de maíz

balance de materia				
toneladas de olote	Hemicelulosa	Xilosa	Rendimiento	total de xilitol
	33.60%	60%	57%	
4,167,720.00	1,400,353.92	840,212.35	478,921.04	toneladas de xilitol

Por lo que considerando la demanda del año 2018 que asciende 874 toneladas de xilitol, se cuenta con la suficiente materia prima para producir xilitol de olote de maíz, para satisfacer la demanda nacional y con posibilidad de producir xilitol para exportar, ya que la demanda equivale al 0.2% de lo que se podría producir de xilitol si se considerara toda la producción en México. Por lo que solo considerando un 5% de la producción de olote se estarían generando alrededor de 23 946 toneladas de xilitol, con esto se cubriría la demanda nacional y quedaría para exportarlo.

Determinación de la ubicación óptima de la planta:

Para la ubicación de la macro localización de la planta de xilitol en México, se consideró como factor clave la producción de material nacional, según las cifras reportadas de CIMA (2019) [23] se obtuvieron los siguientes porcentajes de producción por estado: Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los estados representan el (20%). Siendo Sinaloa el Estado con mayor producción de maíz teniendo el 11.7 millones de toneladas de maíz. Por lo que la mejor opción de locación macro es ponerla en el estado de Sinaloa.

Establecida la macro localización, se da paso a seleccionar la micro localización donde se establecieron los factores predominantes, los cuales fueron: Conflictos en centros de trabajo (huelgas), Seguridad en la región (número de conflictos), Pobreza en la región (cantidad de personas que se encuentran en pobreza), Cantidad de personas con empleo, Red carretera (km construido), Disponibilidad de materia prima (toneladas), costo de hectárea de terrenos. Se seleccionaron las ciudades a evaluar, las cuales fueron seleccionadas mediante el criterio de producción de materia prima, las ciudades seleccionadas fueron: Los Mochis, Culiacán, Guasave, La Cruz y Guamúchil, todas ellas situadas en el estado de Sinaloa. Se asignó un peso a cada factor, los cuales fueron los siguientes; Conflictos en centros de trabajo (0.05), Seguridad en la región (0.10), Pobreza en la región (0.10), Cantidad de personas con empleo (0.15), Red carretera (0.15), Disponibilidad de materia prima (0.30), costo de hectárea de terrenos (0.15). Se

asignó una escala del 0-10 para calificar los factores en cada ciudad y se realizó la calificación por ciudad, para cada factor se obtuvo información mediante la búsqueda de datos en el anuario estadístico del estado de Sinaloa, los cuales se muestran en la Tabla 4, para después continuar con la asignación de calificación a cada ciudad, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4. Evaluación de cada factor por ciudad

Factor	Culliacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis
Conflictos en centrosde trabajo	48.00	3.00	8.00	2.00	18.00
Seguridad en la región, numero de conflictos	7,411.00	388.00	1,356.00	189.00	2,715.00
Pobreza en la región (Cantidad de personas que se encuentran en pobreza)	178,916.00	5,803.00	135,087.00	19,943.00	178,916.00
Cantidad de personas con empleo	366,171.00	29,804.00	101,770.00	23,070.00	190,182.00
Red carretera (km contruidos)	2,593.00	360.00	1,317.00	681.00	2,938.00
Disponibilidad de materia prima (Ton)	1,564,712.00	621,424.00	1,253,675.00	607,045.00	1,574,645.00
Costo de hectarea de terreno	170,000.00	120,000.00	175,000.00	150,000.00	110,000.00

Tabla 5. Calificación de factores

Factor	Peso	Calificación					Calificación				
		Culliacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis	Culliacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis
conflictos	0.05	1.00	6.00	4.00	8.00	2.00	0.05	0.30	0.20	0.40	0.10
Seguridad en la región	0.10	2.00	7.00	5.00	9.00	4.00	0.20	0.70	0.50	0.90	0.40
Pobreza	0.10	8.00	2.00	7.00	4.00	6.00	0.80	0.20	0.70	0.40	0.60
personas con empleo	0.15	4.00	8.00	7.00	9.00	5.00	0.60	1.20	1.05	1.35	0.75
Red carretera	0.15	9.00	2.00	7.00	5.00	8.00	1.35	0.30	1.05	0.75	1.20
Materia prima	0.30	9.00	7.00	8.00	6.00	10.00	2.70	2.10	2.40	1.80	3.00
Terrenos	0.15	6.00	8.00	5.00	7.00	9.00	0.90	1.20	0.75	1.05	1.35
Total	1						6.6	6	6.65	6.65	7.4

Elaborada la calificación de factores se determinó que la ciudad de Los Mochis Sinaloa es la idónea para implementar la primera planta de xilitol en México, ya que cuenta con un mayor peso por la cantidad de materia prima producida.

CONCLUSIONES

Considerando la cantidad de que se puede producir de xilitol con toda la producción de olote a nivel nacional es satisfactoria, como ya se tiene una localización de la planta se obtiene que con solo la producción de olote de maíz en Sinaloa se puede cubrir la demanda ya que se podrán producir 109,552.50 toneladas de xilitol.

La implementación de la planta de xilitol representaría un avance tecnológico para el país así como la generación de empleos en la región y un uso al olote de maíz que ya no será incinerado, lo que provoca altos índices de contaminación. Además, con la producción de xilitol en México este producto se convertirá en un producto de dominio público, volviéndose parte de la dieta de los mexicanos siendo un edulcorante con diversas propiedades para la salud.

El siguiente paso de éste proyecto es llevar a cabo un análisis económico en donde se demuestre la factibilidad económica y financiera de la implementación de la primera planta productora de xilitol a partir de olote de maíz en México.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado en la beca de la C. Mónica Paulina Lozano Rodríguez para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial. Así también a la Maestra en Ciencias Patricia G. Hayward Jones por su apoyo en la revisión del resumen en inglés.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mussatto, S. Silva, S.S., Chandel, A.K : (2012). *Application of xylitol in food formulations and benefits for health. In d-Xylitol; . Berlin and Heidelberg Springer, 309–323.*
- [2] Larosa. (1998). *alcoholes azúcares. zoetecno-campo.*
- [3] Zumbe, A. A., Lee, A., Storey, D. (2001). *Pol-yols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery British. Journal of Nutritio, n. 85: 31-45.*
- [4] Isokangas, P. S. Söderling, E., Pienihäkkinen, K. y Alanen, P. (2000). *Occurrence of consumption of xylitol chewing gum a follow-up 0- 5 years age . Journal of Dentist Research. , 79-11; 1885-1889.*
- [5] Dean, W. (2002). *Xylitol – Sweetener may support bone health. Vitamin Research.*
- [6] Uhari, M. K., Kontiokari, T., Niemelä, M. (2007). *A novel use of xylitol sugar in preventing acute otitis media. . Pediatrics. , 102; 879-884.*
- [7] Gastélum, M. E. (2007). *“PRODUCCIÓN DE XILITOL POR LA LEVADURA IEC5 -ITV A PARTIR DE HIDROLIZADO DE BAGAZO DE CAÑA EN CULTIVO”.* Veracruz, México: Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos.
- [8] Diptarka Dasgupta, S. B. (2017). *Challenges and prospects of xylitol production with whole cell bio-catalysis: A review. Elsevier GmbH.*
- [9] Rafiqul, I. S., Sakinah Mimi (2013.). *Process for the production of xilitol; . A review. Food Reviews International. , 29: 127-156.*
- [10] Barragán, H. B. (2008). *utilización de residuos agroindustriales. Revista Sistemas Ambientales, Vol. 2, No 1, págs. 44-50.*
- [11] Moldes, A. B. (2002). *. Production of a cellulosic sub-strate susceptible to enzymatic hydrolysis from prehidrolized barley husks. Agr. Food Sci. Finland . , 11(1): 51-58.*

[12] Chandel, A. D. Da Silva, S.S., Carbalho, W., Singh, O.V. (2011). Sugarcane bagasse and leaves: Foreseeable biomass of biofuel and bio-products. . *Journal Chemistry Technology Biotechnology.*, 87: 11-20.

[13] Moldes, A. B. (2002). Production of a cellulosic sub-strate susceptible to enzymatic hydrolysis from prehidrolized barley husks. *Agr. Food Sci. Finland.*, 11(1): 51-58.

[14] Corrillo, M. F. (2016). estudio de localización de un proyecto. *Ventana Científica Vol. 7. N° 11*, Pág. 29 - 33.

[15] Castañon,(2014). Producción secuencial de xilitol y etanol a partir de hidrolizado de bagazo de caña utilizando levaduras autóctonas. Veracruz, México.: Tesis de Doctorado en Ciencias Alimentos. Instituto Tecnológico de Veracruz.

[16] Baca, U. G. (2010). Evaluación de Proyectos. México, D.F.: Mc GrawHill.

[17] Andrade Espinoza, Simón (2006) Diccionario de economía, Lima Perú, Editorial Andrade.

[18] CIMMYT. (1995). Manejo de los ensayos e informes de los datos para el Programa de Ensayos internacionales del maíz. ISBN: 970-648-045-5, 20.

[19] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural,2017.

[20] Corrillo, M. F. (2016). ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN DE UN PROYECTO. *Ventana Científica Vol. 7. N° 11*, Pág. 29 - 33.

[21] Reinaldo, S. C. (2004.). Preparación y Evaluación de Proyectos. México: Mc Granw- Hill.

[22] Córdoba, J. A. Salcedo B.E , Rodríguez R , Zamora J. F. , Manríquez B R, Contreras H , Robledo J , Delgado E (2013). CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN QUÍMICA DEL OLOTE: DEGRADACIÓN HIDROTÉRMICA BAJO CONDICIONES. *Rev. Latinoamerica. Quím.*

[23] Centro de información de mercados agroindustriales (2019).Reporte del mercado del maíz 2019.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México

RESUMEN: En la actualidad se enfrenta una problemática ambiental y energética por el uso desmedido de combustibles fósiles y su impacto negativo en el medioambiente, ya que son fuentes no renovables, y su consumo genera contaminantes. El bioetanol es un combustible renovable que ha demostrado reducir las emisiones de CO₂ al ambiente hasta un 90 %, según sea su fuente de producción. La ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en México aprobada en el 2015, apoyó propuestas de investigación enfocadas al impulso tecnológico del bioetanol como biocombustible, a través de convocatorias del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT. Es dentro de este marco que el grupo de investigación de Biocombustibles y Bioprocesos del Instituto Tecnológico de Veracruz desarrolló un proyecto enfocado a la generación de una tecnología para la producción de bioetanol de segunda generación (2G) a partir de residuos lignocelulósicos. La construcción de la primera planta piloto de bioetanol 2G, única en su tipo con tecnología mexicana, es un avance para trascender dicho proyecto, ya que representa una oportunidad relevante para el impulso tecnológico y educativo en México. En este trabajo se realizó un estudio preliminar sobre la descripción de la producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITVer, permitiendo establecer un proceso mediante el cual se obtiene un bioetanol a una pureza de 96.5 y 99.6%.

PALABRAS CLAVE: Biocombustibles, Impacto ambiental, Planta Piloto, Residuos Lignocelulósicos, Bioetanol.



Colaboración

Javier Gómez Aguilar; Gustavo Martínez Castellanos; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Mianzta; María Guadalupe Aguilar Us-canga, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz-UNIDA

ABSTRACT: We currently face an environmental and energy problem due to the excessive use of fossil fuels which have generated a negative impact on the environment; they are non-renewable sources, and their consumption generates pollutants. An alternative to mitigate this problem is the implementation and use of biofuels. Bioethanol is a renewable fuel that has been shown to reduce CO₂ emissions in the environment to 90%, depending on its source of production. The Law on the Promotion and Development of Bioenergetics in Mexico, approved in 2015, supported research proposals through calls from the SAGARPA-CONACYT sector fund focused on the technological drive to produce bioethanol as a biofuel. Subsequently, the Biofuel and Bioprocess Research Group of the Veracruz Institute of Technology developed a project focused on the development of a technology for second generation (2G) bioethanol production from lignocellulosic waste. In that frame of reference, the first 2G bioethanol pilot plant was built, unique in its use of Mexican technology, representing a great historical opportunity for technological stimulus in this country. In this work a preliminary study of bioethanol 2G production in ITVer pilot plant was carried out, allowing to establish a process by which a bioethanol is obtained at a purity of 96.5 and 99.6%.

KEYWORDS: Biofuels, environment, pilot plant, lignocellulosic waste, bioethanol.

INTRODUCCIÓN

El uso desmedido de combustibles fósiles, ha generado un impacto negativo en el medioambiente, y su consumo genera contaminantes como: el metano y el CO₂. Una alternativa para

mitigar este problema es la implementación y el uso de energías limpias y renovables como lo son los biocombustibles. En la Convención de las Naciones Unidas enfocada al cambio climático, llevada a cabo en París, Francia se discutió sobre la situación actual que vive el planeta acerca del cambio climático [1], el objetivo central de esta reunión fue implementar “el Acuerdo de París”, el cual consiste en consolidar la amenaza global del cambio climático manteniendo un aumento de la temperatura global en este siglo XXI muy por debajo de 1.5 grados centígrados [2]. El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, y 55 países en la Convención que representan en total al menos un 55% del total de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero estuvieron presentes, entre ellos México, el cual se comprometió que para el 2030 reduciría a la mitad sus emisiones contaminantes, y que para entonces el 43% de la energía utilizada provendría de fuentes renovables [3]. México emite 417 millones de toneladas de dióxido de carbono, de acuerdo con un reporte de la Agencia Internacional de Energía lo que representa el 1.4% de los gases derivados de la quema en la industria de los combustibles fósiles [4]. Por lo que una alternativa para solucionar esta problemática es la implementación de biocombustibles en el sector transporte ya que este es uno de los mayores consumidores de petróleo en el mundo [5]. Los biocombustibles son una fuente de combustible alterna, los países con mucha demanda de gasolina y petróleo enfrentan un problema por lo que han invertido en proyectos de investigación para fuentes alternas y renovables. El bioetanol se puede utilizar como aditivo para oxigenar la gasolina reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE) que es responsable de la contaminación del suelo y del agua subterránea, puede también utilizarse directo como combustible o mezclado con la gasolina a diferentes porciones (E6, E10, E20 y hasta E100) [6]. El proceso de primera generación es el proceso más sencillo y común para las industrias de producción de bioetanol. En México existen solo cinco industrias para el desarrollo de este producto. En la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer) a lo largo de 10 años un grupo de investigadores ha establecido las condiciones óptimas del proceso de bioetanol a partir de diversas materias primas, para su uso como energía de fuentes renovables. Una de las tecnologías más recientes y de alto impacto es la realizada a través del apoyo del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT (proyecto # 291143), en donde se logró diseñar y construir la primer planta piloto de bioetanol de segunda generación (2G), única en su tipo hecha con tecnología mexicana, las investigaciones previas dieron lugar a que con el proceso de primera generación extrayendo el jugo del tallo de sorgo dulce o caña de azúcar, ahora también sean aprovechados los azúcares obtenidos del bagazo para producir en un solo proceso integral bioetanol de primera y segunda generación. Para México este tipo de proyectos son una oportunidad única e histórica ya que con ello se puede lograr consolidar el uso de este

biocombustible en las gasolinas en un 5.8-10%, y se podrán reducir las emisiones de CO₂ al medio ambiente, debido a que el bioetanol 2G reduce hasta en un 90% dichas emisiones [7]. Bajo este esquema México podrá lograr cumplir con su compromiso con la agenda del acuerdo de París [4]. La naturaleza misma de esta propuesta está inmersa en su totalidad en este tipo de objetivos y escenarios de compromisos hacia el desarrollo sostenible. El bioetanol ha demostrado ser una alternativa como combustible frente a fuentes fósiles y es usado principalmente como: carburante, ya sea para mezclar o reemplazar el petróleo y sus derivados, específicamente las gasolinas [8]. Sin embargo, en la medida en que el bioetanol provenga de materias primas que no sean cultivos básicos para la alimentación, o de monocultivos, y particularmente que su origen se encuentre en fuentes de residuos agrícolas lignocelulósicos, esto es, bioetanol de segunda generación, se estará en sintonía con compromisos de menor impacto ambiental [9]. Los residuos lignocelulósicos están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales deben ser transformados a hidratos de carbono simples (C6 y C5) para ser convertidos a etanol por la acción de levaduras. Es así como este trabajo incluye un estudio preliminar técnico sobre la producción de bioetanol de segunda generación a nivel planta piloto a partir de caña de azúcar, utilizando los resultados obtenidos de 10 años de investigación del grupo multidisciplinario del ITVer, con el fin de dar una propuesta alterna al uso de los combustibles fósiles y conocer la importancia del uso de los biocombustibles en el área energética y ambiental.

DESARROLLO

Para el desarrollo de este trabajo se tomó en cuenta la estructura actual de la planta piloto de bioetanol 1G + 2G establecida en el Instituto Tecnológico de Veracruz, la cual cuenta con una superficie de construcción de 890 m² y 41 equipos distribuidos para procesos de producción de Bioetanol e investigación que se hacen en la planta. Para evaluar el proceso de producción se tomaron en cuenta estudios previos realizados por diversos estudiantes de maestría y doctorado.

Materia prima: Para llevar a cabo este estudio, primero se evaluaron diversos residuos lignocelulósicos, en base a su composición en celulosa, hemicelulosa y lignina, y se seleccionó el bagazo y el rastrojo de la caña de azúcar como materia prima, ya que este es un residuo lignocelulósico que se genera principalmente en el sector industrial (durante el proceso de producción de azúcar de caña) y agrícola (durante la cosecha de la caña de azúcar). La selección fue hecha por su bajo contenido en lignina y su alto contenido en celulosa y hemicelulosa, así como también por la gran disponibilidad que se tiene en México, y principalmente en que el estado de Veracruz es el principal productor de caña y es donde se llevará a cabo este estudio ya que se tiene considerado establecer las plantas comerciales

en donde se ubique la mayor cantidad de materia prima, para evitar el costo de transporte.

Microorganismos: Para llevar a cabo la fermentación o el proceso de conversión de los azúcares a bioetanol 2G, se usaron microorganismos autóctonos, los cuales fueron aislados y seleccionados en el laboratorio de Bioingeniería del ITVer. Estos microorganismos fueron levaduras: *Saccharomyces cerevisiae* ITV-01 aislada de la melaza de caña de azúcar [10] y *Pichia kudriavzevii* ITV-S42 aislada y seleccionada de sorgo dulce [11].

Enzimas: Para llevar a cabo la hidrólisis enzimática, o conversión de la celulosa y hemicelulosa a azúcares fermentables, se utilizaron enzimas comerciales (Celli Ctec3 y Cellic Htec3, empresa Novozyme) y enzimas obtenidas de hongos autóctonos (*Aspergillus niger* ITV01 y ITV02), los cuales fueron aislados y seleccionados en el laboratorio de Bioingeniería aislado de bagazo de caña de azúcar [12].

Proceso de producción de bioetanol 2G: El proceso de producción de bioetanol 2G a partir de bagazo o rastrojo de caña ha sido el resultado de 10 años de investigación y esfuerzos para lograr la mejora del proceso de producción de etanol, evaluando diferentes estrategias tales como: el uso de diferentes sustratos como fuente de carbono y energía (jugo de caña, mieles intermedias, melazas e hidrolizados de bagazo de caña, jugo y bagazo de sorgo dulce, rastrojo de maíz, y de desechos de papa entre otros), el uso de microorganismos autóctonos (obtenidos desde la etapa de aislamiento y selección de cepas productoras de etanol y enzimas celulolíticas nativas de diferentes fuentes) y la modificación de éstos con el fin de lograr mejoras significativas en el mismo (levaduras y hongos con mayores rendimientos y velocidades de producción). Así también, el uso de los diferentes modos de operación de los fermentadores (cultivos por lote, lote alimentado y continuo) y la optimización del medio de cultivo y condiciones ambientales (temperatura, pH y oxígeno entre otras) [13,10, 11, 14,15,16].

Determinación de sustratos y productos: La concentración de sustrato y productos se realizó mediante el uso de un HPLC bajo las siguientes condiciones: cromatografía líquida de alta resolución (Waters 600, TSP Spectra System, Waters, Milford, MA, EE. UU.) Utilizando una columna Biorad Aminex HPX-87H (Bio-Rad Laboratories, Inc., Hercules, CA, EE. UU.). La temperatura fue de 40°C, ácido sulfúrico de fase móvil 5 mM, velocidad de flujo de 0,4 ml min⁻¹ y se utilizó un detector de refracción de índice (Waters 2414, TSP Refracto Monitor V, Waters).

Distribución de la Planta Piloto: La distribución e instalación de los equipos y tanques con los que cuenta la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer) se muestran en la Figura 1.

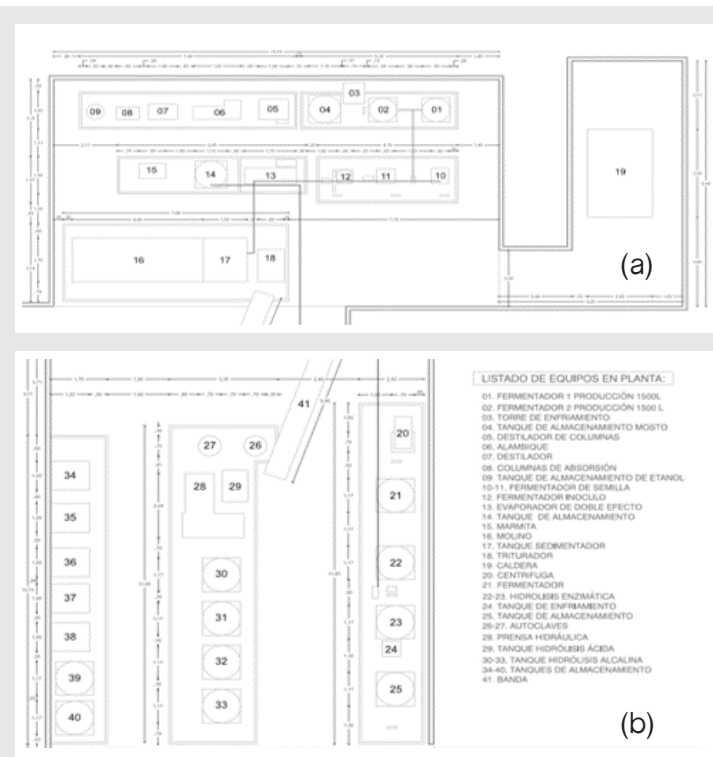


Figura 1. Diagrama de la distribución de la planta piloto 1G (a) y 2G (b), ubicada en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. (Fuente: Elaboración propia)

La planta piloto de ITVer cuenta con 41 equipos los cuales están distribuidos de acuerdo a las etapas del proceso de producción de bioetanol, en esta planta trabajan tanto estudiantes como profesores de posgrado y licenciatura, en las diferentes áreas tales como; Maestría en Ingeniería industrial, Ing. electrónica, Ing. química, Maestría e Ingeniería en bioquímica, entre otras, así como residentes profesionales. En la Figura 3 podemos observar el número de cada equipo y la posición en la que se ubican. Este diagrama se divide en dos partes: 1) El proceso de producción de bioetanol de primera generación, obtenido a partir de azúcares fermentables y otros subproductos, la cual se encuentra en la parte superior que implica la numeración del 1 al 18, la cual consta de las etapas de molienda, evaporación, fermentación, destilación y deshidratación y; 2) el proceso de producción de bioetanol de segunda generación que utiliza residuos lignocelulósicos, que es la sección 19 (donde se encuentra la caldera) hasta la sección 40 que implica las áreas de: banda transportadora que está conectada al molino o picadora del bagazo de caña, para continuar con los tanques de pre-tratamiento ácido o alcalino, hidrólisis enzimática y de ahí se conecta de nuevo con la primera sección que es la planta de bioetanol 1G, con los equipos de evaporación, fermentación y destilación deshidratación los cuales son equipos que se utilizan en ambos procesos.

RESULTADOS

Determinación de la disponibilidad de la materia prima (caña de azúcar y bagazo de caña) en los cinco

primeros estados en México: Se realizó un estudio para conocer la disponibilidad de la materia prima, poder establecer la base para el cálculo del tamaño de plantas que se podrían instalar en México y en los cinco estados mas productores de caña. Los resultados obtenidos muestran que según una publicación del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [17], México tiene una producción de caña de azúcar que supera los 55 millones de toneladas en el 2018, para el año 2019, la producción de caña de azúcar aumentó a 6.25 millones de toneladas. Según la CONADESUCA [18] como principales productores tenemos los estados de: Veracruz y Jalisco que aportan un 50.6% de la producción nacional (Tabla 1):

Tabla 1. Principales estados productores de caña de azúcar en México y la varianza de crecimiento en los últimos años.

Numero	Estado	Volumen (Toneladas)		% bagazo disponible (30%) 2018	Variación (%) 2012-2018
		2012	2018		
1	Veracruz	18,111,886	20,912,561	6,273,768.3	15.46
2	Jalisco	6,254,590	7,215,209	2,164,562.7	15.36
3	San Luis Potosí	2,529,479	4,160,775	1,248,232.5	64.49
4	Oaxaca	3,482,394	3,696,183	1,108,854.9	6.14
5	Tamaulipas	3,571,398	3,100,000	930,000	-13.20
	Restos	16,996,736	16,752,559	5,025,767.7	-1.44
	Total	50,946,483	55,837,287	16,751,186.1	9.60

Fuente: SIAP, 2018; CONADESUCA 2012-2018.

Elaboración propia

En la Tabla 1, podemos observar que la producción de caña de azúcar en México ha ido aumentando a lo largo de 6 años y que para el 2019 se espera llegar a producir 62.5 millones de toneladas de caña de azúcar por lo que se espera un aumento del 11.93 por ciento de la varianza. El consumo nacional de azúcar para el 2016 es de 4.38 millones de toneladas y el país se importa un 0.16 millones de toneladas de azúcar. Por lo que la producción nacional es positiva [17,18,19]. Esto indica que para la producción de bioetanol de segunda generación se puede usar como materia prima el bagazo de caña de azúcar como una opción de biocombustible y fuente renovable. Se ha reportado que una tonelada de caña de azúcar genera entre 280 a 300 Kg de bagazo [20]. Por lo que la fermentación de este material podría incrementar la productividad de etanol en la industrial alcoholera, así como la sostenibilidad del proceso, el bagazo se desecha como residuo agrícola o es quemado para el suministro de energía en las calderas de las fábricas de azúcar y etanol [21].

El bagazo de caña de azúcar es un material lignocelulósico abundante y de bajo costo que se obtiene como residuo del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar [22]. Este corresponde generalmente al 25% del peso total y contiene entre 60-80% de carbohidratos [21].

Etapas del proceso de producción de Bioetanol 2G en la Planta piloto: A manera general, el proceso de

producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITVer, se puede visualizar en la Figura 2, este proceso es el resultado de varios años de investigación en donde se puede clasificar en tres etapas principales: 1) proceso de producción de azúcares fermentables a partir de residuos agroindustriales a partir de diversos pre-tratamiento y tratamiento enzimático 2) la transformación de estos azucares a etanol a partir de la acción de las levaduras en el proceso llamado fermentación, 3) la purificación del etanol a 96.5 o 99.6% (v/v).

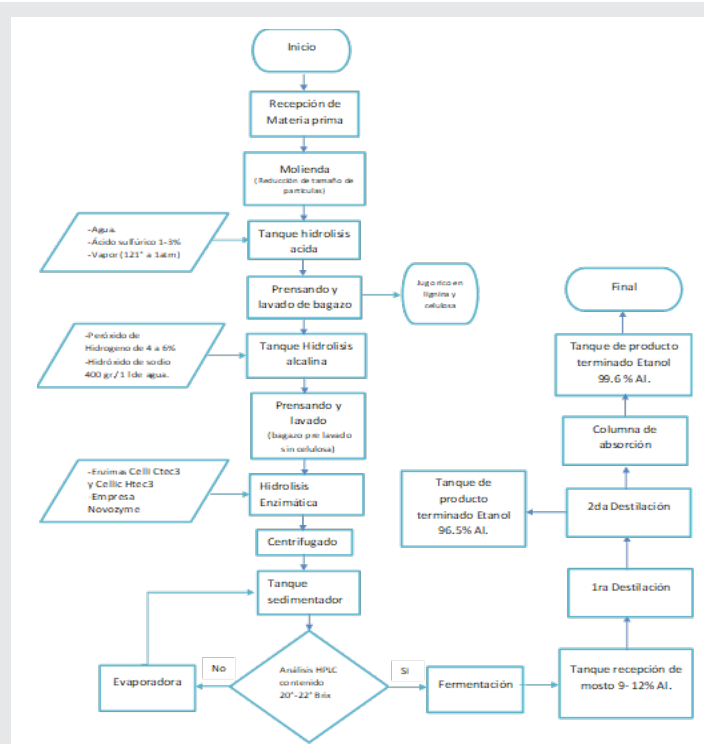


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de segunda generación (2G) para la producción de bioetanol en planta piloto. (Fuente: Elaboración propia)

Todas estas etapas del proceso se han ido mejorando a través del uso de diseños de experimentos de acuerdo a cada una de las variables que intervienen en el proceso de obtención de bioetanol. A continuación, se describirán cada una de las etapas del proceso iniciando desde la recepción de la materia prima y su primer tratamiento (físico) que consiste en la reducción del tamaño de partícula hasta el producto final (etanol al 96.5 o 99.6% v/v):

Molienda: La molienda es una etapa que tiene como finalidad la reducción de partículas del bagazo de caña mediante el uso de un molino de rodillos y cuchillas.

Pre-tratamientos: Las dos etapas críticas que impactan en el costo final de bioetanol son los pre-tratamientos y la hidrólisis enzimática. Por lo cual se han evaluado dos escenarios de proceso utilizando diferentes etapas de pre-tratamientos, para obtener un rendimiento mayor al 85% de conversión del material pre-tratado a glucosa y xilosa. En la Figura 3 se muestran los dos pro-

cesos para la obtención de azúcares fermentables que se han probado para producir bioetanol 2G. El proceso No. 1 inicia con un pre-tratamiento ácido, el cual degrada el polímero de hemicelulosa a monómeros (xilosa y glucosa), seguido de un pre-tratamiento alcalino y finalmente una hidrólisis enzimática utilizando la enzima celulasa (CellicCtec3).

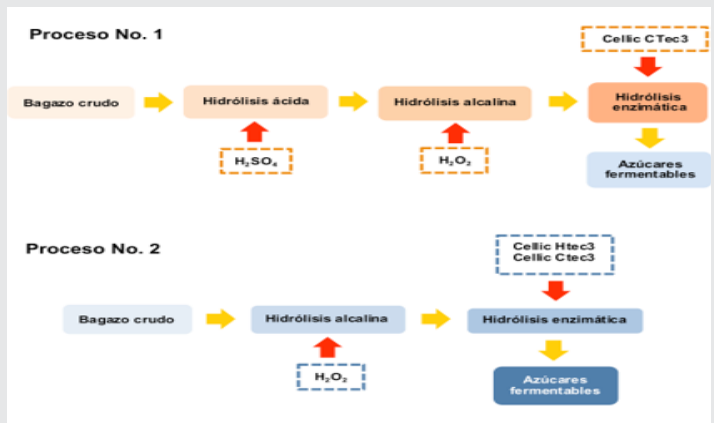


Figura 3. Proceso con pre-tratamiento ácido-alcalino y alcalino directo (Fuente: Moran Aguilar, 2018)

El proceso No. 2, implica una eliminación del pre-tratamiento ácido, pasando directamente al alcalino seguido de una hidrólisis enzimática con las enzimas CellicCtec3 (celulasa) y CellicHtec3 (xilanasas).

Pre-tratamiento ácido o hidrólisis ácida: esta etapa consiste en transformar la hemicelulosa a azúcares para poder realizar una fermentación. A los residuos lignocelulósicos se le aplica una solución de ácido sulfúrico entre 1-5 %, se añade vapor de la caldera a 175°C y 9 bares de presión con una relación sólido líquido de 1:4 a 1:12 kg/L, esta etapa tarda aproximadamente 40-50 minutos [21]. En el proceso de pre-tratamiento se toman muestras para analizar el contenido de glucosa y xilosa, así como se evalúa el contenido de hemicelulosa al final del pre-tratamiento para valorar la eficiencia de remoción de este polisacárido.

Prensado: posterior a la hidrólisis ácida se realiza un prensado para recuperar un licor rico en xilosa y separar el bagazo hidrolizado ácido. A partir del prensado se obtiene un material con un mayor contenido de celulosa y lignina el cual pasa al siguiente pre-tratamiento alcalino.

Pre-tratamiento alcalino o hidrólisis alcalina: La hidrólisis alcalina tiene como finalidad la remoción de la lignina presente en el material lignocelulósico, ya que esta constituye una barrera para que puedan ser aprovechados los polisacáridos de interés como celulosa y hemicelulosa, este proceso ocurre debido a que los grupos hidroxilo generan un hinchamiento en el material lignocelulósico. Este pre-tratamiento consiste en la adición de un compuesto alcalino, y se pueden dividir en

dos grupos: los que utilizan hidróxido de sodio (NaOH), potasio (KOH), y calcio (Ca (OH)²) y los que utilizan hidróxido de amonio (NH₄OH) [21].

Prensado: Posteriormente se realiza de nuevo un prensado, en la que se obtiene una segunda masa sólida con una cantidad pequeña de lignina y una corriente líquida con un gran contenido de lignina soluble. La materia lignocelulósica pasa al siguiente tratamiento que es la hidrólisis enzimática.

Hidrólisis enzimática: La hidrólisis enzimática tiene como finalidad convertir la celulosa en glucosa. Esta reacción es catalizada por las enzimas denominadas celulasas, cuyo propósito es la transformación de la celulosa a azúcares simples como la glucosa. Las celulasas son parte de un complejo enzimático compuesto por diferentes tipos de celulasas como las endocelulasas, exocelulasas y las β-glucosidasas. Las endoglucanasas atacan aleatoriamente el enlace interno O-glicosídico, produciendo cadenas de glucosa de diferentes tamaños. Las exoglucanasas actúan en los extremos de la cadena de celulosa y genera como producto final la β-celobiosa. La β-glucosidasa actúa específicamente en el disacárido β-celobiosa generando el monosacárido de glucosa [23,24]. En esta etapa se han usado diversas enzimas comerciales y enzimas autóctonas obtenidas de microorganismos aislados y seleccionados por el grupo de investigación del ITVer, en esta etapa de hidrólisis enzimática ya se tiene optimizado la concentración de enzima, la relación sólido-líquido y el tiempo de reacción o liberación de los azúcares o conversión de la celulosa.

Centrifugación: Una vez obtenido en la hidrólisis enzimática el mosto con los azúcares fermentables, se procede al proceso de centrifugación para separar compuestos el licor de glucosa y xilosa para pasar a la etapa de fermentación.

Fermentación: En este proceso el licor rico en azúcares fermentables es llevado a los diferentes tanques de fermentación (80L, 450L y 1500L), en donde se llevan a cabo tres etapas, la primera es una activación o adaptación de la levadura el medio conteniendo el hidrolizado enzimático y medio de cultivo sintético (esto se hace en el fermentador de 80 litros), posteriormente todo este mosto pasa a un fermentador de 450 litros en donde se airea para producir la levadura y finalmente se pasa a los tanques de producción (1500L) en donde se lleva a cabo el proceso bajo condiciones anaerobias no estrictas, durante 24 horas y con agitación moderada de 100 rpm.

Destilación: En este proceso el mosto fermentado que contiene entre un 9-12% de alcohol es pasado a través de dos columnas de destilación, en donde en la primera se obtiene un producto con 86% de pureza de etanol, el cual es pasado a la segunda columna rectificadora

para obtener un alcohol con una pureza del 96.5%. Este proceso se lleva a cabo utilizando vapor directo suministrado a través de una caldera de vapor.

Deshidratación: Consiste en concentrar el etanol obtenido en la destilación (96.5%) a través de unas columnas de absorción cargadas con zeolitas naturales, en donde estas tienen la finalidad de atrapar el agua contenido en el etanol para así producir un etanol al 99.6% de pureza, el cual puede ser utilizado como biocombustible directo o como aditivo en las gasolinas.

CONCLUSIONES

El presente estudio podemos concluir que tiene como finalidad el dar a conocer la importancia que tiene el implementar y desarrollar nuevas tecnologías en el país para sustituir aquellas que no son renovables y afectan al país, y la disponibilidad de materia prima que existe en nuestro país. El diseño de la distribución de la planta piloto y equipos que se utilizan para el proceso de obtención de bioetanol de segunda generación en el Instituto Tecnológico de Veracruz podemos concluir que con los resultados obtenidos se podrá implementar estudios a nivel planta piloto (escala del TRL 5-7). Una de las materias primas más importantes en México como lo es la caña de azúcar, y el estado de Veracruz se ubica en el primer productor a nivel nacional, siendo entonces un estado con una gran oportunidad para detonar la industria alcoholera. Es una planta piloto experimental la cual es la base para el paso de la transferencia de la tecnología a nivel comercial, con los estudios que se generen en esta planta estaremos en la posibilidad de competir con otros países en esta tecnología y así poder cumplir con los compromisos ambientales que México tiene en la agenda del tratado de París. Así también es una oportunidad para que la industria pueda crecer en la producción de biocombustibles, ya que México cuenta con mucha materia prima en la cual se pueden enfocar los estudios, procesos y determinar su factibilidad. En el desarrollo de este artículo se puede establecer que el proceso de segunda generación es una opción viable, ya que puede aprovecharse el 100 % de la materia prima alcanzando rendimientos finales del 0.46% (g/g) lo que puede generar etanol de calidad para usarse como combustible para motores de combustión interna o aditivos para las gasolinas. Por otra parte, en el país existe la producción suficiente de bagazo de caña que tiene un gran potencial de producción de miles de millones de litros de etanol, ya que teóricamente por una tonelada de bagazo de caña se pueden producir desde 200 hasta 300 litros de bioetanol a una pureza de 96.5 y 99.6%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca al Ing. Javier Gómez Aguilar para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial. La Planta Piloto de Bioetanol de Segunda Generación (2G) del Instituto Tecnológico

de Veracruz fue inaugurada en noviembre del 2018. Su construcción fue financiada por el fondo de Bioenergéticos de la SAGARPA-CONACYT 2017 proyecto N° 291143.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Robbins, A. (2016). *How to understand the results of the climate change summit: Conference of Parties21 (COP21) Paris 2015*.
- [2] UNFCCC (United Nation Climate Change). 2015a. *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015*.
- [3] UNFCCC (United Nation Climate Change). 2015b. *Intended Nationally Determined Contribution México*.
- [4] SEMARNAT. 2015. *Emisión nacional de gases de efecto invernadero*.
- [5] SENER. 2013. *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2013-2027*.
- [6] Carrasco, M., & Guevara, E. (2001). *Efectos ambientales del uso del Metil Terc Butil Eter (MTBE) como oxigenante en la formulación de gasolinas. Revista INGENIERÍA UC, 8(1), 1-11*.
- [7] Serrano-Ruiz, J. C., & Luque, R. (2011). *Biocombustibles líquidos: procesos y tecnologías. In Anales de la Real Sociedad Española de Química (No. 4, pp. 383-389). Real Sociedad Española de Química*.
- [8] García Fonseca C. y García Ortiz B.G. 2018. *Estudio de mercado del etanol. pp.1-140*.
- [9] Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L. & Williams, R. (2009). *Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. Science, 325(5938), 270-271*.
- [10] Ortiz-Zamora, O., Cortes-García, R., Ramirez-Lepe, M., Gomez-Rodriguez, J. y Aguilar-Usanga, M.G. 2009. *Isolation and Selection of Ethanol-Resistant and Osmotolerant Yeasts from Regional Agricultural Sources in México. J Food Process Eng. 32(5):775-786*.
- [11] Díaz-Nava, L.E. 2014. *Aislamiento y selección de levaduras para la producción de etanol durante la fermentación espontánea de jugo de sorgo dulce. Tesis de maestría. ITVer, Veracruz, México*.
- [12] Reyes Rodríguez E. 2015. *Aislamiento y selección de hongos o bacterias productores de celulasas y hemicelulosas a partir de residuos lignocelulósicos para la obtención de azúcar reductores*.

Tesis de maestría en ciencias ingeniería química. ITO, Veracruz, México.

[24] Singh, A. (1999). Engineering enzyme properties. *Indian Journal of Microbiology*. 39 (2): 65-77.

[13] Aguilar-Uscanga, M.G., Delia, M.L. y Strehaiano, P. (2000). Nutritional requirements of *Bretanomyces bruxellensis*: Growth and physiology in batch and chemostat cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 234: 334-361.

[14] Castañón-Rodríguez, J. F., Portilla-Arias, J. A., Aguilar-Uscanga, B. R., AguilarUscanga, M. G. (2015). Effects of oxygen and nutrients on xylitol and ethanol production in sugar bagasse hydrolyzates. *Food Science Biotechnology*. 24 (4): 1381-1389.

[15] Yñiguez-Balderas, B. S., Ortiz-Muñiz, B., Gómez-Rodríguez, J., Gutierrez-Rivera, B., & Aguilar-Uscanga, M. G. (2016). Ethanol production by *Pichia stipitis* immobilized on sugarcane bagasse. *Bioethanol*, 2(1).

[16] Partida-Sedas G. (2017). Production of ethanol from the juice and bagasse of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genetically improved. Doctor of Food Sciences. Technological Institute of Veracruz, Veracruz, Ver.

[17] SIAP-SADER. 2019. Expectativas agroalimentarias.

[18] CONADESUCA, 2018. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar.

[19] SIAP-GOB. 2018. La producción de caña de azúcar supera los 55 millones de toneladas en 2018.

[20] Sun, J.X., Sun, X.F., Zhao, H., Sun, R.C. (2004). Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*. 84: 331-339.

[21] Moran Aguilar M.G. 2018. Estudio de la sacarificación del bagazo de caña de azúcar y *Agave angustifolia* para la producción de azúcares fermentables. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería bioquímica. ITO, Veracruz, México.

[22] Takahashi, C.M., Lima, K.G.C., Takahashi, D.F. y Alterthum, F. (2000). Fermentation of sugar cane bagasse hemicellulosic hydrolysate and sugar mixtures to ethanol by recombinant *Escherichia coli* KO11. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 16, 829-834.

[23] Bayer, E.A., Morag, F., y Lamed, R. (1994). The cellulosome a treasure-trove for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 12 (9): 379-386.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Estudio de localización y distribución de planta para una maquiladora de productos textiles de la región de Misantla, Ver.



Colaboración

César Argüelles López; Edwin Daniel Méndez Cruz; Miguel Ángel López Ramírez; Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Ligia Herrera Franco, Investigador independiente

RESUMEN: Esta investigación muestra un caso de estudio de localización y distribución de planta para una empresa de confeccionistas y maquiladores, la cual fue generada a través de dos fases: en la primera, se realizó un diagnóstico de las necesidades de la empresa y se determinó la localización del nuevo taller mediante la aplicación del método de Brown and Gibson; en la segunda fase, se obtuvo la distribución de las áreas de trabajo de acuerdo con la aplicación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP). Además de la determinación de la localización y distribución del nuevo taller, se usó software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para la creación del Layout. El objetivo de la investigación fue determinar la localización y generar la distribución óptima para el mejoramiento de las operaciones de la empresa “Confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, obteniendo mejoras como reducción de recorridos, mejora del flujo de materiales y áreas mejor distribuidas. La metodología empleada demuestra que se pueden reducir problemas por la mala localización y distribución de planta, los cuales afectan a la mayoría de las empresas a largo plazo, generando costos elevados por transporte y entorpecimiento del flujo de materiales en el proceso productivo.

PALABRAS CLAVE: Diseño, Distribución, Localización, Mejora, Planta.

ABSTRACT: This research shows a case study of plant location and distribution for a garment and maquiladora company, which was generated through two phases: in the first, a diagnosis of the company's needs was made and the location was determined of the new workshop by applying the Brown and Gibson method; In the second phase, the distribution of the work areas was obtained according to the application of the Systematic Layout Planning (SLP) methodology. In addition to determining the location and distribution of the new workshop, Computer Aided Design (CAD) software was used to create the Layout. The objective of the investigation was to determine the location and generate the optimal distribution for the improvement of the operations of the company “Confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, obtaining improvements such as reduction of routes, improvement of the flow of materials and better distributed areas. The methodology used shows that problems can be reduced due to the poor location and distribution of the plant, which affect most of the companies in the long term, generating high costs for transport and impeding the flow of materials in the production process.

KEYWORDS: Design, Distribution, Location, Improvement, Plant.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta un estudio de localización y distribución de planta para la PyME denominada “Empresa de confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Nautla, Ver. Actualmente, la empresa mantiene una distribución inadecuada donde las áreas han ido agregándose de acuerdo con las necesidades que van surgiendo a través del tiempo. Esto ha ocasionado el interés del propietario por crear un nuevo taller en una mejor ubicación que le permita estar más cerca de sus proveedores y con mayor posibilidad de crecimiento. Para ello, se aplicó el método de Brown y Gibson y la

metodología SLP para posicionar a la empresa en un área geográfica dentro de la región, donde exista un equilibrio entre los costos generados por suministros, el transporte y las relaciones con los clientes, disminuyendo distancias y mejorando a su vez el flujo de las operaciones productivas de la empresa.

Fundamentos teóricos

La localización y distribución de instalaciones es una de las decisiones clave que determinan la eficiencia de las operaciones a largo plazo. La distribución de instalaciones tiene numerosas implicaciones estratégicas porque establece las prioridades competitivas de la organización en relación con la capacidad, los procesos, la flexibilidad y el costo [1].

De acuerdo con Meyers y Matthew [2], el diseño de las instalaciones de manufactura y manejo de materiales afecta casi siempre a la productividad y a la rentabilidad de una compañía, más que cualquiera otra decisión corporativa importante. Las actividades industriales desarrolladas en entornos competitivos se rigen cada vez más por las condicionantes de un mercado exigente y selectivo, en el que la eficiencia en el desempeño de todas las facetas del proceso productivo se hace condición necesaria para la subsistencia de la empresa. El éxito vendrá condicionado, entre otros factores, por la optimización de los costos de producción y una flexibilización de los procesos que permita hacer frente a un entorno cambiante [3].

Moore [4] establece siete objetivos básicos a cumplir por la distribución en planta: simplificar al máximo el proceso productivo, minimizar los costos de manejo de materiales, tratar de disminuir la cantidad de trabajo en curso, aprovechar el espacio de la manera más efectiva posible, aumentar la satisfacción del operario y procurar la seguridad en el trabajo, evitar inversiones de capital innecesarias, y aumentar el rendimiento de los operarios estimulándolos convenientemente.

A través del tiempo, el problema de distribución en planta ha sido entendido de distintos puntos de vista; Caputo, et al. [5] afirman que este problema consiste en encontrar la disposición espacial óptima de un conjunto de instalaciones teniendo en cuenta las conexiones que debe existir entre ellas para organizar de manera más eficiente la producción y aumentar la seguridad de la planta. Existen diferentes métodos para generar propuestas de localización de planta, tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Los métodos cualitativos, del tipo de matrices de selección por puntos, consisten en calificar a las localizaciones propuestas, a partir de una valoración de los factores ponderados, que son objeto del análisis [6], de esta forma, las puntuaciones obtenidas en la calificación corresponden a un porcentaje de la localización ideal (100 %) [7]. En cuanto a las escalas de valoración, se utiliza una técnica denominada "Escala de Orden" [8] en la cual se establece una jerarquía entre los distintos elementos objeto de valoración. Estas son escalas cualitativas, la unidad que ocupa el primer puesto vale más que la segunda y ésta que la tercera, pero no puede inferir-

se cuanto más. Una variación del método anterior fue propuesta por Brown y Gibson, donde se combinan factores posibles de cuantificar con factores subjetivos, asignándoles una ponderación relativa, para obtener una medida de preferencia de localización [9].

En la actualidad, las empresas se enfrentan a un ambiente cambiante e incierto, por lo que cada vez los proyectos de localización y redistribución de planta son más comunes; es necesario aclarar que los proyectos de redistribución de planta consisten en la reorganización de los equipos, departamentos y recursos existentes en la planta, con el fin de mejorar su desempeño [10], mientras que la localización sirve para determinar la ubicación ideal para que la planta se instale, considerando diversos factores que detonaran el crecimiento de esta a futuro. De acuerdo con la investigación realizada por Valencis [11] se obtuvo una reducción de costos del 46% aplicando metodología SLP en una planta procesadora de alimentos, de igual manera Martínez, et al. [12] en su aplicación de la misma metodología obtuvo una tasa de retorno superior al 600% debido a una mejor distribución.

El objetivo de la investigación es generar una alternativa viable de ubicación y distribución de planta para la empresa de confeccionistas y maquiladores del ejido "La isla", a través del método de Brown y Gibson y la metodología SLP.

MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto fue desarrollado para un taller de confeccionistas y maquiladores ubicado en la comunidad de la Isla de Chapa Chapa, perteneciente al municipio de Nautla, Veracruz, el cual presenta áreas de oportunidad para su desarrollo y posicionamiento en el mercado, a pesar de la notoria demanda de sus productos.

De acuerdo con un diagnóstico realizado y las necesidades de la empresa, se propuso realizar un estudio de localización y distribución de un nuevo taller para mejorar sus operaciones desde un punto estratégico.

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto se presenta en la figura 1.

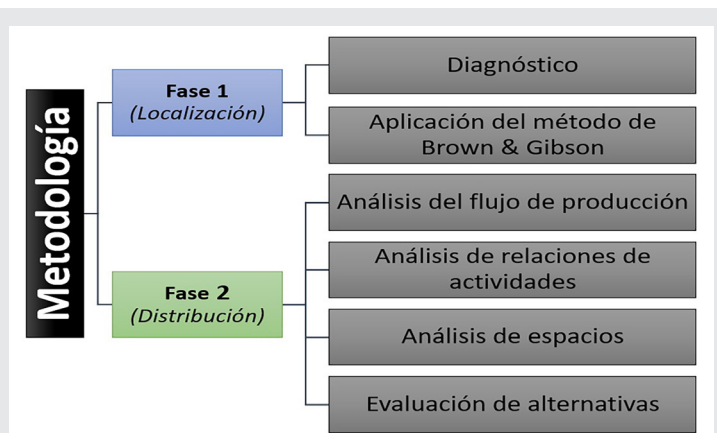


Figura 1. Metodología de localización y distribución. Elaboración propia.

Fase 1.- Localización

La determinación de la mejor alternativa para la localización del nuevo taller se llevó a cabo considerando un diagnóstico preliminar de la empresa y a través del método de Brown y Gibson, por el cual, mediante la definición de los factores de interés y su evaluación, se pudo obtener la mejor alternativa. Para ello, se definieron los factores de impacto, se hizo el cálculo del factor objetivo por cada locación (FO_i), la estimación de los factores subjetivos (FS_i) y el cálculo de la medida de preferencia (MPL_i) para obtener la mejor alternativa de localización.

Definición de factores

El primer paso para la aplicación del método de Brown y Gibson es identificar los factores de mayor impacto de acuerdo con las necesidades de la empresa como el suministro de servicios, cercanía con los proveedores que suministran la materia prima, los costos por transporte y arrendamiento principalmente (Tabla 1).

Obtención del factor objetivo (FO_i)

Después de identificar los factores de mayor impacto se procedió a calcular el factor objetivo (FO_i) aplicando la ecuación 1. La tabla 1 muestra los costos por cada factor de acuerdo con las tres alternativas para la localización de la nueva planta.

$$FO_i = \left[COF_i \sum \frac{1}{COF_{in}} \right]^{-1} \quad \text{Ec. (1)}$$

Tabla 1. Costos de los factores por cada locación propuesta.

	MARTÍNEZ DE LA TORRE (a)	MISANTLA (b)	LA ISLA DE CHAPA CHAPA (c)
Gastos de arrendamiento	\$81,600.00	\$64,800.00	\$10,800.00
Contratación de luz y agua	\$86,400.00	\$85,300.00	\$91,700.00
Gasolina	\$38,400.00	\$41,200.00	\$45,400.00
Contratación de MO calificada	\$1,041,566.40	\$1,035,014.40	\$1,674,188.00
Gastos de materia prima	\$112,600.50	\$110,015.00	\$114,000.38
Teléfono	\$6,580.00	\$6,216.00	\$5,800.00
TOTALES	\$1,367,154.90	1,342,545	\$1,941,888.33

De acuerdo con la sustitución de los datos de la tabla 1 en la ecuación 1, se obtuvo el factor objetivo de cada locación i .

$$FO_a = \left[1367154.90 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = 0.853$$

$$FO_b = \left[1342545.40 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = 0.087$$

$$FO_c = \left[1941888.38 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = 0.06$$

Estimación de factores subjetivos (FS_i)

Después de realizar el cálculo de los (FO_i), se procedió a estimar cada factor subjetivo por locación (FS_i) aplicando la ecuación 2.

$$FS_i = \sum (R_{ij} * W_j) \quad \text{Ec. (2)}$$

Para aplicar la formula, se procedió a definir los factores identificados en la tabla 2 (K_i).

Tabla 2. Ponderación de cada factor subjetivo.

	A	B	C	SUMA
(K1) Efecto sobre las inversiones en altura sobre el nivel del mar	0.60	0.60	0.60	1.80
(K2) Temperatura/Humedad	0.70	0.70	0.70	2.10
(K3) Disponibilidad	0.90	0.90	0.30	2.10
(K4) Proveedores	0.90	0.70	0.60	2.20
(K5) Los suministros y servicios existentes en la zona	0.90	0.60	0.60	2.10
(K6) La posibilidad de abastecerse en la zona	0.90	0.80	0.10	1.80
SUMA	4.90	4.30	2.90	

*(A) Martínez de la Torre; (B) Misantla; (C) Chapa Chapa

El cálculo del índice de importancia relativa (W_j) para cada factor K_i , se obtuvo al dividir la suma de las ponderaciones por factor entre cada ponderación aplicada a cada locación i . Como resultado se obtuvo la tabla 3.

Tabla 3. Índices de importancia relativa W_j

SUMA	Wa	Wb	Wc
1.80	0.333	0.333	0.333
2.10	0.333	0.333	0.333
2.10	0.429	0.429	0.143
2.20	0.409	0.318	0.273
2.10	0.429	0.286	0.286
1.80	0.500	0.444	0.056

El cálculo del ordenamiento jerárquico (R_{ij}) se obtuvo al dividir cada ponderación entre la suma de ponderaciones de cada locación i . Como resultado se obtuvo la tabla 4.

Tabla 4. Ordenamiento Jerárquico R_{ij} .

SUMA	4.90	4.30	2.90
RK1	0.122	0.110	0.207
RK2	0.143	0.163	0.241
RK3	0.184	0.209	0.103
RK4	0.184	0.163	0.207
RK5	0.184	0.140	0.207
RK6	0.184	0.186	0.034

Al sustituir los W_j y los R_{ij} en la ecuación 2, se obtuvo el factor subjetivo por cada alternativa:

$$FS_A = 0.333 * 0.122 + 0.333 * 0.143 + 0.429 * 0.184 + 0.409 * 0.184 + 0.429 * 0.184 + 0.500 * 0.184 = 0.413$$

$$FS_B = 0.333 * 0.140 + 0.333 * 0.163 + 0.429 * 0.209 + 0.318 * 0.163 + 0.286 * 0.140 + 0.444 * 0.186 = 0.365$$

$$FS_C = 0.333 * 0.207 + 0.333 * 0.241 + 0.143 * 0.103 + 0.273 * 0.207 + 0.286 * 0.207 + 0.056 * 0.034 = 0.281$$

Obtención de la medida de preferencia de localización (MPL)

Finalmente, con los (FO_i) y los (FS_i) calculados, se obtuvieron las medidas de preferencia de localización para evaluar cada alternativa. Para realizar el cálculo se aplicó la ecuación 3.

$$MPL_i = k(FO_i) + (1 - k)(FS_i) \quad \text{Ec. (3)}$$

Al sustituir los valores, se obtuvo:

$$MPL_A = (0.7 * 0.853) + (0.3 * 0.413) = 0.721$$

$$MPL_B = (0.7 * 0.087) + (0.3 * 0.365) = 0.170$$

$$MPL_C = (0.7 * 0.060) + (0.3 * 0.281) = 0.126$$

Determinación de la mejor localización

De acuerdo con la aplicación del método de Brown y Gibson y la medida de preferencia de localización calculada, se determinó que la mejor alternativa para la localización del nuevo taller de la empresa es en Martínez de la Torre, Veracruz.

Fase 2.- Distribución

La segunda fase del proyecto fue determinar la distribución del nuevo taller, ya que diversos autores coinciden que una buena distribución de las áreas ayuda a mejorar significativamente las operaciones productivas. Para ello, fue necesario realizar un análisis del flujo de la producción, determinar las relaciones entre las actividades del taller, analizar las necesidades del sistema productivo y la disponibilidad de espacios.

Análisis del flujo de producción.

Este análisis se llevó a cabo utilizando diagramas de proceso y recorrido, determinando las características de cada subproceso para la fabricación de cada producto. Como resultado de este análisis se obtuvieron las etapas necesarias para la fabricación y las áreas requeridas, así como los espacios necesarios para las operaciones productivas.

Análisis de relaciones entre actividades.

Después de realizar el análisis del proceso, se procedió a generar un estudio para identificar las relaciones entre las actividades productivas con el propósito de determinar las áreas que mantienen mayor comunicación y requieren mantener relación cercana (Figura 2).

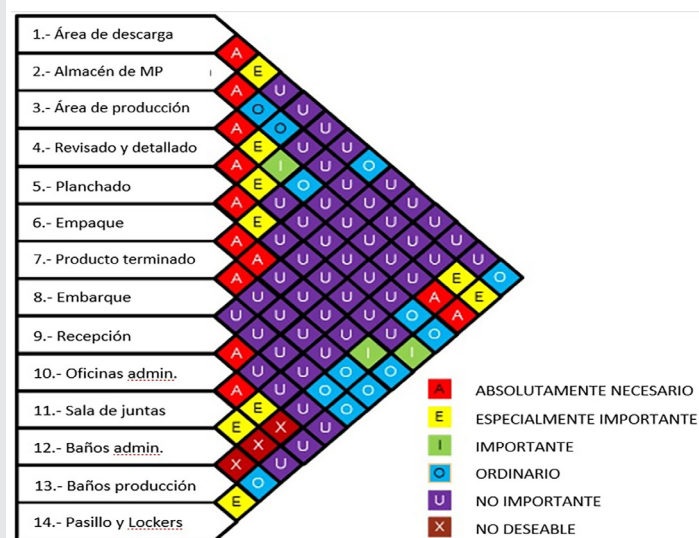


Figura 2. Diagrama de relaciones de actividades. Elaboración propia.

Análisis de necesidades y disponibilidad de espacios.

El análisis de las necesidades y la disponibilidad de espacio se llevó a cabo mediante la generación de diagramas de relación de espacios, siendo similar al diagrama relacional de actividades (Figura 3). También se realizó el cálculo para determinar las dimensiones de las áreas necesarias (Figura 4).

De acuerdo con los cálculos realizados, se obtuvo que para el espacio estático se requieren 28.88 m², para el espacio gravitacional 31.65m² y finalmente para el espacio evolutivo 50.95m².

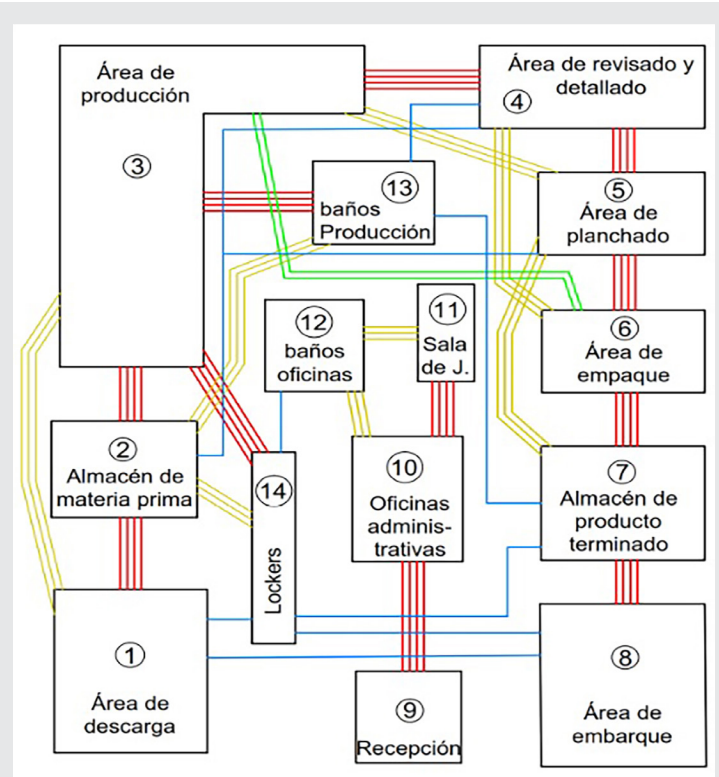


Figura 3. Diagrama relacional de espacios. Elaboración propia.

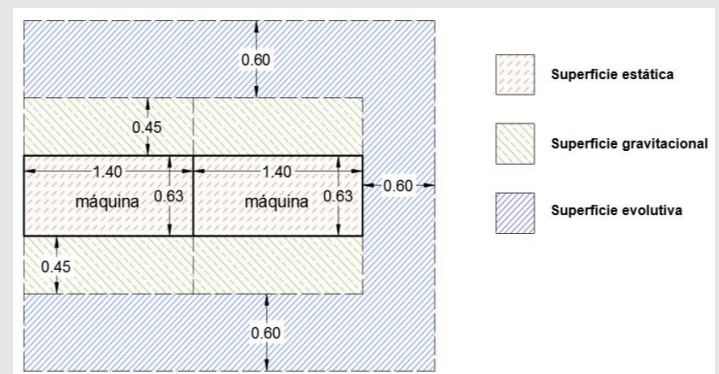


Figura 4. Requerimientos de espacios. Elaboración propia.

Evaluación de alternativas

Las alternativas fueron propuestas de acuerdo con el análisis relacional de áreas de trabajo con el fin de disminuir los recorridos y mejorar el flujo de proceso pro-

ductivo. De acuerdo con las alternativas generadas, la mejor de ellas se muestra en la figura 5.

de pérdida de tiempo y merma de materia prima hasta de un 20% aproximadamente. Además, al no contar con un área de carga y descarga apropiada, los empleados realizaban recorridos excedentes interrumpiendo otras tareas de manera frecuente, esto implicaba que el sistema productivo se viera retrasado hasta en un 30%.

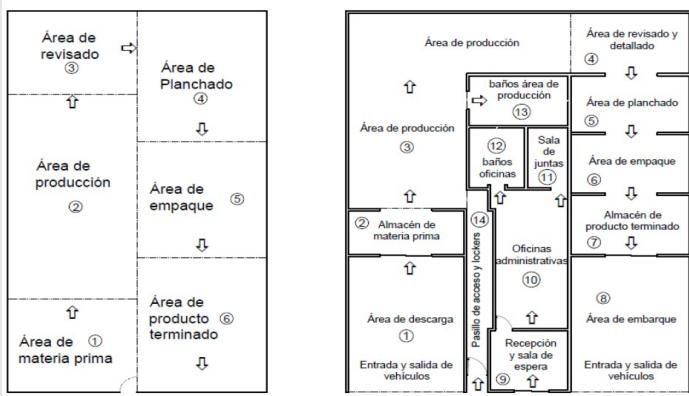


Figura 5. Distribución actual vs. distribución propuesta. Elaboración propia.

RESULTADOS

De acuerdo con el desarrollo de la metodología planteada para la localización y distribución de las áreas de trabajo para la empresa de maquiladores y confeccionistas. Se obtuvo que la localización para el nuevo taller es en la ciudad de Martínez de la Torre, Veracruz. La distribución resultante para el taller se muestra en la figura 6. La figura 7 muestra el layout del taller realizado en software CAD.

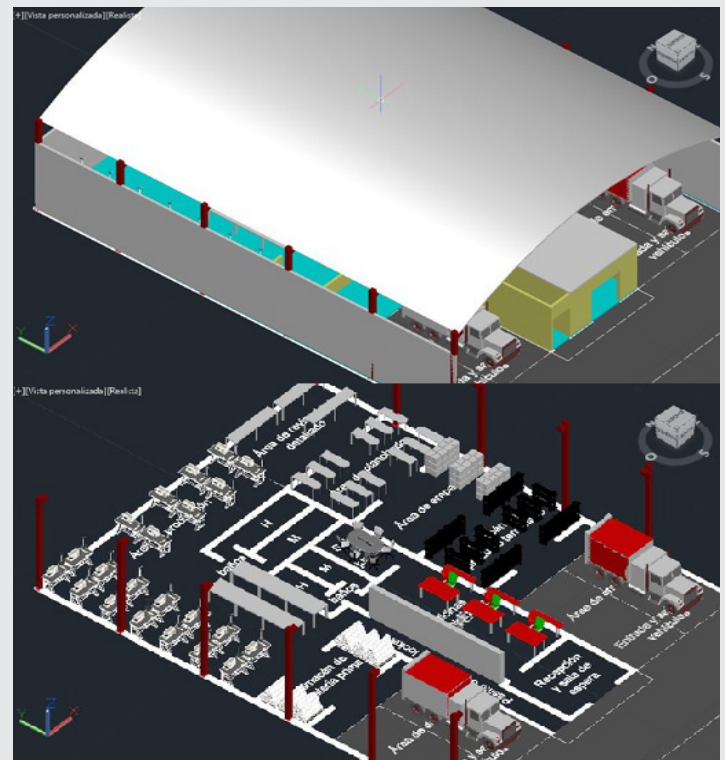


Figura 7. Layout de la distribución resultante de la planta. Elaboración propia.

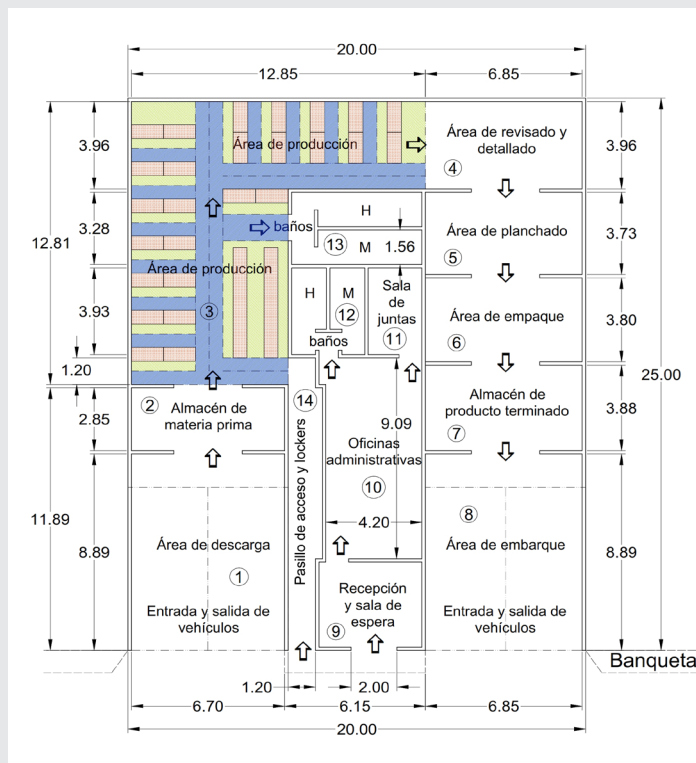


Figura 6. Propuesta de distribución del taller. Elaboración propia.

Con la nueva ubicación de la planta y la distribución propuesta, los recorridos serán más cortos debido al ordenamiento de las áreas y se espera que las cargas y descargas de los vehículos sean 50% más rápidas en comparación con la distribución anterior.

Discusión.

De acuerdo con Orozco y Cervera (2013), la simulación permite tomar mejores decisiones, es por esto que la simulación de las diversas alternativas generadas por la metodología SLP tienen como propósito el "organizar algunos elementos (departamentos, grupos de trabajo, puestos de trabajo, maquinarias y equipos, entre otros), de manera tal que garantice un flujo de trabajo uniforme (en una fábrica) o un patrón de tráfico determinado.

Además, el uso de la metodología SLP permite afrontar el problema de distribución de planta de manera ordenada debido a la necesidad de desarrollar un procedimiento verdaderamente sistemático. La aplicación de esta metodología en el caso de estudio presentado en este artículo confirma que es necesario, para cualquier empresa, planear y organizar el diseño de sus instalaciones, ya que a largo plazo se generaran mejores beneficios.

Teniendo en cuenta la poca organización del sistema productivo de la planta actual, se detectaron problemas

CONCLUSIONES

La correcta localización y distribución de planta ha sido y seguirá siendo clave para el crecimiento de las empresas, ya que se minimizan algunos problemas de suministro y se mejora el flujo del proceso productivo al mantener cercanas aquellas áreas que mantienen una estrecha relación en sus operaciones.

Actualmente existen diversas metodologías para la distribución de planta, sin embargo, la metodología Systematic Layout Planning (SLP) ha sido de las más aceptadas por diversos autores para la solución de problemas de distribución de planta.

El estudio de localización y distribución del nuevo taller para "La empresa de confeccionistas y maquiladores del ejido La isla" representa una alternativa para el crecimiento y posicionamiento de la empresa. Sin embargo, es necesario mencionar que la empresa deberá emprender proyectos para mejorar su proceso productivo desde diferentes aspectos, desde la organización laboral hasta la estandarización de sus procesos administrativos y productivos.

Como trabajo futuro, se espera que se estandaricen los procesos de la empresa y se genere un plan estratégico y operativo para mejorar su productividad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Heizer y B. Render, *Principios de administración de operaciones*, Séptima ed., México: PEARSON EDUCACIÓN, 2009, p. 752.

[2] F. Meyers y S. Matthew, *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*, Tercera ed., México: PEARSON EDUCACIÓN, 2006, p. 528.

[3] J. Diego, *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos: aportación al control de la geometría de las actividades*, Valencia: Universidad de Valencia, 2006.

[4] J. Moore, *Plant layout and design*, New York: MacMillan Company, 1962.

[5] A. Caputo, P. Pelagagge, M. Palumbo y P. Salini, «Safety-based process plant layout using genetic algorithm», *Journal of Loss Prevention in the Process*, pp. 139-150, 2015.

[6] M. Tavella y J. Giordano, *Planificación Ambiental Estratégica y Desarrollo Sostenido. Asentamiento de Parques Industriales.*, Buenos Aires: Actas del XXII Congreso Interamericano de Ingeniería Química, 2006.

[7] M. Tavella, A. Miropolsky y M. Roxana, *Los Parques Industriales como Estrategia para el Desarrollo Sostenible en Ciudades de la Provincia de Córdoba. Córdoba.*, Córdoba: Actas del IV Congreso Internacional de Municipios y Servicios Públicos., 2007.

[8] D. Gómez, *Evaluación Ambiental Estratégica*, Madrid: Mundi Prensa Libros, 2007.

[9] N. Sapag y R. Sapag, *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Santiago: McGraw-Hill Interamericana, 2000.

[10] L. Rivera, L. Cardona y L. Vásquez, «Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones», *Sistemas & Telemática*, pp. 9-26, 2012.

[11] C. J. Collazos Valencis, *Rediseño del sistema productivo utilizando técnicas de distribución de planta*, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2013.

[12] A. Martínez Martínez, T. Lozada Trujillo, F. A. L. Carlos y C. g. Moras Sanchez, «Aplicación de la metodología SLP en la empresa "La vieja Molienda de Santa Maty" Para mejorar la distribución de sus componentes y uso de los espacios.» *Revista de la Ingeniería Industrial*, pp. 29-50, 2012.

[13] G. Arroyave Loaiza, P. Isaza Nieto y E. C. Jarrillo Soto, «Análisis de Sensibilidad en los Proyectos de inversión en Salud», *Salud pública de México*, pp. 318-327, 1993.

[14] G. Baca Urbina, *Evaluación de Proyectos*, México, D.F.: Mc GrawHill, 2010.

[15] C. & Calidad, «Consultoría en crecimiento de Pymes y Empresas Familiares», 17 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.clasec.net/como-hacer-presupuestos-parte-3-presupuesto-de-inversiones/>. [Último acceso: 17 Octubre 2014].

[16] S. García Echevarría, *Teoría económica de la empresa*, Madrid, España: Díaz de Santos, 1994.

[17] H. M. D. P. A. Gonzales, *Proteccion releas*.

[18] L. Krajewski, L. Ritzman y M. Malhotra, *Principios de Administración de Operaciones*, México: Pearson Educación, 2008.

[19] M. Leyva, D. Mauricio y J. Salas Bacalla, «Una taxonomía del problema de distribución de planta por procesos y sus métodos de solución.» *Industrial Data*, pp. 132-143, 2013.

[20] E. E. Orozco y J. E. Cervera, «Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales apoyado en el uso de la Simulación de Procesos», *Investig.innov.ing.*, pp. 6-12, 2013.

[21] A. M. Paredes Rodríguez, K. A. Peláez Mejía, V. L. Chud Pantoja, J. L. Payan Quevedo y D. R. Alarcón Grisales, «Rediseño de una planta productora de lácteos mediante la utilización de las metodologías SLP, CRAFT y QAP», *Scientia et Technica*, pp. 318-327, 2016.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Estrategia de implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2G en la planta piloto del ITVER

RESUMEN: El presente trabajo tiene como propósito mostrar una visión general del desarrollo de la implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2da Generación en la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz, para este sistema se determinaron 5 etapas principales: Inicio. Planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre. Este sistema se implementa a través de un software denominado Wonderware MES, el cual permite llevar un control de la operación de la planta de una manera ordenada con datos en tiempo real, recabar y distribuir la información de la planta piloto de bioetanol de 2G es de los objetivos más importantes, el cual contará con una metodología de operaciones básicas, dando como resultado la toma de decisiones de la manera correcta en tiempo y forma, Así mismo se mostrara cuáles son los posibles software MES y como se determinó cual es el más adecuado[1]. Previamente a la implementación del sistema, se realizan actividades para recopilar la información de la planta, equipos, maquinarias, personal de operación y auxiliares y toda la información que es relevante en el proceso y es transmitida a través de las redes de comunicación hasta llegar al software, una vez capturada se procede a realizar un análisis con la finalidad de detectar posibles fallos y ser corregidos, para cuando se ponga en marcha pueda funcionar de manera adecuada y sin errores[2].

PALABRAS CLAVE: Automatización, MES (Sistema de Ejecución de la Manufactura), bioetanol, CIM (Manufactura integrada por computadora), Manufactura, ERP (Planificación de recursos empresariales), SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).



Colaboración

Yerania Salinas Sarabia, Instituto Tecnológico Superior de Mianitla; María Guadalupe Aguilar Uscanga; Javier Gómez Rodríguez, Instituto Tecnológico de Veracruz

ABSTRACT: The purpose of this work is to show an overview of the development of the implementation of a manufacturing execution system (MES) in the 2nd Generation bioethanol production process in the pilot plant of the Veracruz Institute of Technology, for this system They determined 5 main stages: Start. Planning, execution, monitoring and control, closing. This system is implemented through a software called Wonderware MES, which allows you to keep track of the operation of the plant in an orderly manner with real-time data, collect and distribute the information of the 2G bioethanol pilot plant. The most important objectives, which will have a methodology of basic operations, resulting in decision-making in the right way in a timely manner, it will also show what are the possible MES software and how it was determined which is the most appropriate. Prior to the implementation of the system, activities are carried out to collect the information of the plant, equipment, machinery, operating personnel and auxiliaries and all the information that is relevant in the process and is transmitted through the communication networks until reaching the Once the software has been captured, an analysis is carried out in order to detect possible failures and be corrected, so that when it is started up it can function properly and without errors.

KEYWORDS: Automation, MES (Manufacturing Execution System), Bioethanol, CIM (Computer Integrated Manufacturing), Manufacturing, ERP (Enterprise Resource Planning), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

INTRODUCCIÓN

En la industria el progreso tecnológico ha ido en constante evolución dado el creciente interés en el desarrollo de sistemas automatizados, con la finalidad de satisfacer necesidades y solucionar problemas más puntuales que precisan una definición y delimitación más específica de las problemáticas del contexto industrial [1].

Las empresas han optado por implementar tecnologías innovadoras para atender y satisfacer las necesidades de los clientes que requieren un suministro rápido, de bajo costo y de gran calidad. En la búsqueda continua de mejoras en la eficiencia de los procesos de producción, el sector industrial ha realizado grandes inversiones en la adquisición de nuevas tecnologías tales como hardware y software para soportar e implementar sensores, actuadores, controladores lógicos programables PLC's, actualización de maquinaria y sistemas de supervisión SCADA (del inglés, Supervisory Control And Data Acquisition). Con las nuevas generaciones de tecnologías de la información en las empresas existe la falta de un vínculo crucial entre los procesos automatizados y otras áreas de la empresa, que va desde la gestión de la producción, áreas de logística, recursos humanos y financieros [2]. Una solución viable para resolver esta falta de comunicación entre las áreas es la implementación de un sistema de ejecución de la manufactura MES [3].

Los sistemas MES son parte del modelo CIM perteneciendo al nivel 3 de la pirámide CIM (del inglés, Computer Integrated Manufacturing), el cual es una herramienta que integra todos los procesos existentes en la manufactura a través de la implantación de sistemas automatizados permitiendo comunicación entre áreas funcionales y operacionales [7]

El modelo CIM se remonta a principio los años 70s, desarrollado por Joseph Harrington, quien publicó un libro llamado "Computer Integrated Manufacturing" en 1973, que pretendía la idea de crear una industria controlado por los ordenadores, luchando por establecer en el mercado mejores precios, servicios y productos [10]

Un sistema MES se utiliza en la industria de manufactura para seguimiento y control de los procesos de producción, facilita y proporciona información a los ingenieros del proceso sobre las condiciones actuales y mejoras en la productividad. [9]

A través de un sistema MES se obtienen datos en tiempo real del nivel producción y son transmitidos al nivel ERP (del inglés, Enterprise Resource planning), estos datos al llegar al nivel directivo de la empresa pueden ser analizados y facilitar la toma de decisiones operativas [6]

MATERIAL Y MÉTODOS

En el Instituto Tecnológico de Veracruz se encuentra

ubicada la primera planta piloto generadora de bioetanol de 1era y 2da Generación en México, el proceso de obtención del bioetanol [11] se genera a través de una serie de etapas donde se involucran una gran cantidad de equipos, maquinarias, componentes, sistemas eléctricos, personal operador, entre otros; se pretende que el proceso sea automatizado totalmente, razón por la cual se implementa un sistema MES, para llevar a cabo la implementación se están desarrollando una serie de actividades en las cuales se recopila toda la información de la planta de manera manual, se tendrá un listado de todos los equipos existentes en la planta que son parte del proceso y las características de cada uno de ellos, un listado de componentes, un listado del personal operador y auxiliares, toda la información que exista en el almacén de materiales, la información de producciones anteriores será capturada en el software para tener datos de referencia, se identificarán tiempos muertos que existan en el proceso de producción y posteriormente se ejecutará una estrategia de rendimiento y eficiencia, se validarán señales y se revisarán las redes de comunicación con apoyo de personal del área de informática, para asegurar que toda la información transmitida hacia el software sea correcta y completa [2].

La planta piloto de bioetanol del ITVER, cuenta con un software llamado InduSoft, el cual es una herramienta de automatización para la recopilación de datos SCADA, este software permite integrar dispositivos de control y adquisición de pantallas y computadoras a nivel industrial, este software cuenta con la información que se transmite a través de los sensores de temperatura, Sensores de presión, actuadores, bombas, sistemas, gabinetes de control, controles lógicos programables (PLC's), en la figura 1 se puede observar la representación de los sistemas SCADA y MES y como se complementan entre ellos, donde toda la información que se transmite a través de los componentes provienen de las etapas que conforman el proceso de obtención de bioetanol de 2G, como lo son: pretratamiento, proceso de hidrólisis enzimática, proceso de hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina, fermentación, etc.

El software InduSoft se utiliza como complemento para la implementación del sistema MES, estos softwares de operación y supervisión permiten al operador interactuar con el proceso de obtención de bioetanol 2G, facilitando la toma de decisiones de manera remota desde un cuarto de control.

Actualmente existe una asociación mundial sin fines de lucro denominada MESA (del inglés, Manufacturing Enterprise Solutions Association), esta asociación se centra en la mejora de los procesos productivos a través de la optimización de las aplicaciones existentes en la industria implementando tecnologías de la información y buenas prácticas; esta asociación se conforma por empresas de fabricación, proveedores de softwa-

re y hardware, analistas, proveedores de servicios de consultoría, profesionistas, académicos y estudiantes. MESA es una organización preocupada en estandarizar el concepto y el alcance de las soluciones MES.

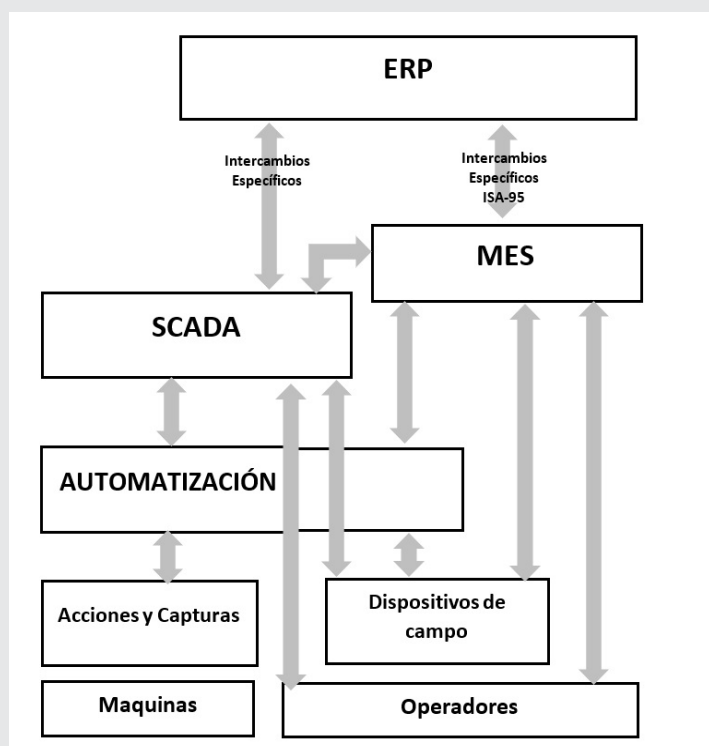


Figura 1. Representación del sistema SCADA y el sistema MES.

se podrá programar la fecha de inicio y fin de cada una de las etapas del proceso de producción, en la figura 2 se muestran las etapas que se monitorean a través del sistema MES en el cual cada una de estas etapas tiene características y datos que serán transmitidos de manera puntal y se ordenaran en secuencia lógica desde el inicio de la molienda hasta la obtención del producto terminado, se podrá verificar el tiempo que conlleva cada una de las etapas para la obtención del bioetanol.

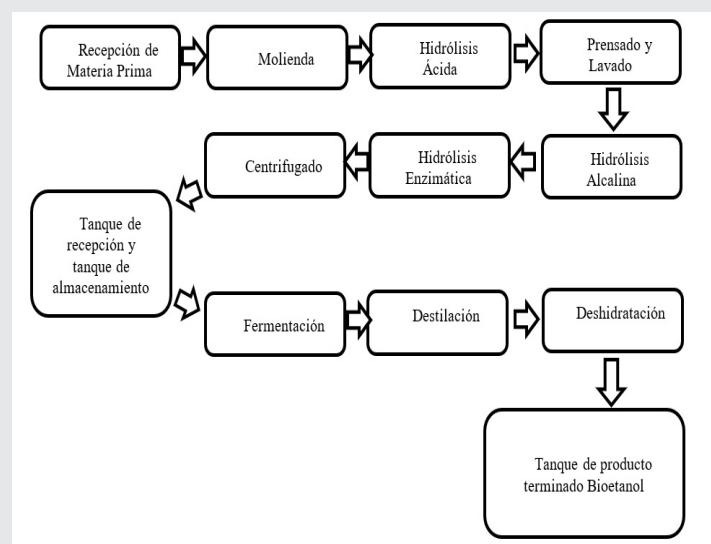


Figura 2. Etapas que se monitorean en el proceso de producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITVER.

MESA International se fundó en 1992 con la finalidad de promover los sistemas MES, el alcance se amplió posteriormente para incluir funciones en toda la cadena de valor empresarial de manufactura e integración de dispositivos de planta y control de sistemas empresariales e inteligencia para niveles más altos de automatización, optimización y organización de procesos de fabricación.

Los miembros de MESA abarcan una gama de diferentes entornos de fabricación, apoyando a sus miembros en la utilización de tecnologías para proporcionar visión en tiempo real de los procesos de producción.

La implementación del MES en el proceso de producción de bioetanol en la planta piloto de bioetanol estará conformada por 11 funcionalidades básicas establecidas por la Asociación MESA, en la figura 3 se representan estas funcionalidades de manera organizada y clasificadas por MESA [8]:

Programación de las Operaciones

Cuando se inicia el proceso de producción de Bioetanol en la planta piloto del ITVER, previamente se realiza una programación y planeación de las operaciones, para ello es importante tener un plan de actividades, conocer los tiempos y responsables de cada una de las actividades que se realizan. A través del sistema MES

Con la programación de las etapas se podrán visualizar los gráficos con información en tiempo real, se ejecutarán y controlarán operaciones y se prevenirán sobrecargas entre los centros de producción y a su vez se cumplirán con plazos de entrega establecidos.

Gestión de Recursos y Estados

Cada uno de los equipos, máquinas y sistemas que pertenecen a la planta piloto, se monitorearán por el sistema MES en todo momento, con la finalidad de optimizar y maximizar su eficacia, permitiendo llevar una programación para realizar mantenimiento preventivo y correctivo en caso de ser necesario, con la finalidad de prevenir fallas durante el proceso de la producción. En planta piloto se encuentran todos los equipos que son indispensables para el proceso de producción de bioetanol.

Control de las Unidades De Producción

El sistema MES tendrá un control sobre las unidades de producción de bioetanol a través de la generación de ordenes de producción que permitirá llevar un control individual por cada lote o pedido que se produzca.

Control de la Documentación

Toda la información interna y continua del proceso para la obtención de bioetanol de 2G estará disponible en todo momento a través del sistema MES, al tener con-

trolada toda la información se podrá identificar el estado actual de la planta con la finalidad de saber cómo mejorarlo. Todas las tareas que se lleven a cabo más de una vez o que la realicen numerosas personas, se capturarán en la base de datos del MES, este control permitirá eliminar errores, reducir el tiempo empleado en las tareas, mejorará la eficiencia y permitirá producir los resultados deseados.

Seguimiento y Genealogía del Producto

Para la producción de bioetanol habrá un registro de todos los datos proporcionados a lo largo de la cadena de producción. Se conocerá en todo momento la ruta del producto desde que se toma la materia prima hasta la obtención del producto final.

Análisis de Indicadores de Rendimiento

Durante el proceso de producción de bioetanol en la planta piloto se tendrá la capacidad de analizar en tiempo real el funcionamiento general del proceso, detectando retrasos, cantidad de producción y parámetros de utilidad para analizar la eficiencia.

Gestión Laboral

A través del MES se podrá dar seguimiento a los operadores registrados en los trabajos y se podrá consultar el tiempo de permanencia en los equipos y/o máquinas, el MES almacenará datos del personal como horarios, horas laborales, calendarios y sus programaciones.

Gestión de Mantenimiento

El sistema MES permitirá garantizar la continuidad de la actividad operativa, al llevar un registro del uso de los recursos se podrá planificar mantenimientos preventivos evitando retrasos por fallas causadas en los equipos.

Gestión de Proceso

La información que se transmita a través de las redes de comunicación tanto de operaciones, equipos de planta, especificaciones, listas de materiales, rutas, y configuraciones, estarán vinculadas y monitorizadas permitiendo que el operario pueda intervenir sobre el proceso en cualquier momento.

Gestión de Calidad

El software MES permitirá realizar análisis de los datos relacionados con el proceso de obtención del bioetanol en tiempo real para mantener la calidad hasta su etapa final del proceso y tener la capacidad de identificar los problemas y puntos débiles a tiempo.

Captura de Datos

Toda la información que interviene en el proceso de producción de bioetanol 2G en la planta piloto, ha sido recolectada automática y manualmente, ha sido cargada en el software InduSoft y se capturara en el software Wonderware MES una vez que este sea instalado.

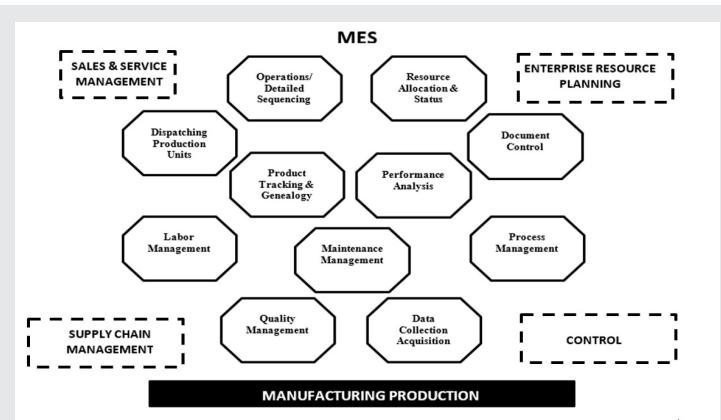


Figura 3. Representación de las funcionalidades de un MES, establecidas por la Asociación MESA [8]

Selección del Software MES

Para la implementación del sistema MES, se analizaron diferentes softwares que cumplan con las funcionalidades y que estas puedan ser adaptables a los requerimientos de la planta piloto.

En el mercado existe una gran variedad de software MES que son implementados en la industria manufacturera, entre las alternativas que se analizaron se encontraron las siguientes [3]:

EdInn

Edinn se integra directamente en la estructura de la empresa, trabajando on-line con cualquier ERP, dispone de una visión multiplanta desde la que se podrá acceder en tiempo real a múltiples centros de trabajo y ubicaciones.

Wonderware MES

Este software es uno de los más completos en el ámbito industrial, incluye la gestión de todas las funcionalidades con las que debe cumplir un MES, su modelo de proceso proporciona información fiable en tiempo real, donde los directivos y operarios están mejor ocupados para agilizar el flujo de pedidos y ejecución de la producción. Permite llevar a cabo un seguimiento de la transformación de materias primas a productos acabados, permitiendo evaluar rentabilidad y calidad.

Opera

Este software es un sistema MES completo, moderno, configurable y modular que cubre de manera perfecta la gestión y el control de actividades de Producción, Calidad, Materiales y Mantenimiento. El objetivo principal es facilitar información en tiempo real sobre el avance del plan de producción: actividades directas e indirectas, rendimiento, eficiencia por operador, máquina, línea, centro de coste, centro de trabajo, departamento, etc., la relación entre el tiempo programado y el tiempo utilizado.

Una vez que se analizaron los posibles software a implementar en la planta piloto de bioetanol 2G, se concluyó

yó que los 3 softwares cumplen con los requerimientos de planta y se determinó que el software más viable para adquirir es el Wonderware MES de acuerdo a las siguientes razones: Maneja una versión académica con 20 licencias, que pueden ser utilizadas por los estudiantes de posgrado del ITVER, el software pertenece al mismo distribuidor del programa InduSoft, lo que facilita la complementación de ambos y finalmente por el costo, ya que al ser una versión académica el precio es más accesible.

Simulación del sistema MES

Una vez recopilada y capturada manualmente la información de planta e instalado el Wonderware MES, partiremos hacia la simulación del sistema, transmitiendo la información de cada uno de los equipos que cuenta con pulsadores que indican si se encuentra en parada o funcionamiento. Cada elemento básico de las etapas del proceso contiene las variables que permiten al software mostrar análisis y reportes. Pero para que estos puedan ser visualizados en el software, se utilizarán plantillas, se crearán objetos con un conjunto de características, atributos, extensiones, gráficos e información. Para la simulación se tendrá en cuenta la futura interacción con elementos de campo como sensores y actuadores. El software provee las herramientas y el manual para caracterizarlo según las condiciones de la planta piloto de bioetanol 2G. se diseñará una interfaz y arquitectura para el control de la planta [10].

Para la implementación del MES es necesario tener acceso a las variables que permitan ejecutar ordenes de trabajo, informes y todas las señales imprescindibles, estas señales se recogen a través de un bus de ethernet industrial de la planta piloto.

Impacto de la implantación de un MES

La implementación de su sistema MES en la planta piloto contribuirá al uso eficiente de los recursos, mejorando la productividad. Cabe destacar que el trabajo en equipo de todos los colaboradores en la planta piloto de bioetanol de 2G es primordial, siendo este uno de los pilares más importante para que el proyecto pueda salir adelante. Es importante señalar que gracias a los informes en tiempo real que nos proporcionó el sistema MES, será posible que se puedan detectar patrones de comportamiento y anomalías en el sistema y proceso de producción.

Al implementar este sistema e integrarlo con software existentes de información, podremos dar seguimiento a indicadores en planta permitiendo mejorar tanto las variables económicas-financieras como las operativas.

Las empresas que utilizan MES son mucho más propensas a mejorar en los indicadores operativos utilizados para la confiabilidad el costo y la capacidad de responder rápidamente a las nuevas demandas.

Haciendo una reflexión sobre los procesos industriales nos lleva a pensar como la automatización y el control industrial forma parte fundamental en la implementación y el mantenimiento de la sostenibilidad.

Al implementar sistemas de automatización en la industria, estos llevan consigo una mayor eficacia en el producto final lo que impactará en una disminución significativa de consumo energético, menor número de residuos a reciclar, ahorro de consumo de papel dado que todos los datos serán tratados de manera telemática [5]

El desarrollo integral de software, hardware, mecánica industrial, automatización y telecomunicaciones, a través de una correcta red de comunicación en conjunto con el trabajo en equipo se logrará en la producción una mayor competitividad, eficiencia y confiabilidad [4].

CONCLUSIONES

Con el sistema MES implementado, podremos identificar problemas y oportunidades de mejora que existan en el proceso de la obtención del bioetanol de 2G, al tener la información y/o captura de datos del proceso de una manera ordenada se puede convertir en información apta para contribuir en la toma de decisiones en la mejora del proceso, productividad y la calidad de los productos, así como mejoras en el manejo de buenas prácticas en la manufactura, al tener acceso a la información del proceso, esta podrá ser manejable, se podrá monitorizar y evaluar continuamente resultados obtenidos del producto final.

Los informes obtenidos por el MES no solo permitirán obtener una lectura de lo que está sucediendo en planta, sino que gracias a la adición de visualizaciones gráficas con las que cuenta el software será posible detectar patrones de comportamiento y anomalías del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Patiño Nieto, Luz Marina, Ballesteros Grisales, Jairo, (2016). *Requerimientos del mercado y razones para la utilización de sistemas de ejecución de manufactura MES*. Bogotá Colombia, Facultad de matemáticas e ingeniería.

[2] García Moreno E., (1999). *Automatización de procesos industriales*. España, Universidad Politécnica de Valencia.

Mandado Pérez E., Marcos Acevedo J., Fernández Silva C., Armesto Quiroga J., (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. España, Marcombo S.A.

[3] Gianluca D'Antonio, Sauza Bedolla J., Chiabert A., (2017), *A novel methodology to integrate Manufacturing Execution Systems with the lean manufacturing approach*, Italia, Procedia.

[4] Ortiz Gallardo G., Moreno Vásquez G., (2016), bioetanol- Cartera de Necesidades de Innovación y desarrollo tecnológico, México, Instituto Mexicano del Petróleo.

[5] Adedotun Adetunla, (2018), Developing Manufacturing Execution Software as a service for Small and Medium Enterprise, Sudáfrica, Universidad de Johannesburgo.

[6] Souza das Neves J, Silva Marins F., Kazue Akabane G., (2015), Deployment the MES (Manufacturing Execution System) aiming to improve competitive priorities of Manufacturing, Brasil, Independent Journal of Management & Production (IJM&P).

[7] Velásquez Costa J.,(2017) Computer Integrated Manufacturing CIM, Lima, Perú, Universidad Ricardo Palma.

[8] MESA International Home, Asociación mundial, recuperado de : <http://www.mesa.org/en/index.asp>.

[9] Colin Egan and Michael J. Thomas, (2010) CIM Handbook of Strategic Marketing, Editorial Routledge.

[10] Cheng Wu, Yushun Fan, Deyun Xiao, John Wiley, (2007), Computer Integrated Manufacturing, Beijing China.

[11] Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga, Dr. Noé Montes García, (2016) "Planta piloto para la producción de etanol a partir de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)" Boletín de la Sociedad Química de México.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Compensador de temperatura para bolsa de solución dializante



Colaboración

Israel Robles Hernández; Isabel Lagunes Gómez; Ana María Pérez Maldonado, Instituto Tecnológico Superior de Alvarado; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

RESUMEN: Como producto de la aplicación de la metodología de principios para innovación TRIZ en la reducción de las molestias ocasionadas al paciente en el tratamiento de la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) por Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua (DPAC), por el suministro de líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal; se presenta un prototipo de Dispositivo Médico (DM) Activo Terapéutico de uso pasajero, que transforma la corriente eléctrica en energía térmica y realiza la conducción controlada de calor al líquido dializante. Con base en los resultados de las pruebas realizadas en laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo, se concluye que el DM permite la manipulación de la temperatura a 36 °C con variación de ± 1 °C; y con base en los resultados de las pruebas de viscosidad, se concluye que posibilita la provisión continua del fluido dializante por diferencial de altura. Estos resultados sitúan al prototipo en un Nivel de Madurez Tecnológica (TRL'S) validación de concepto (nivel 4) y en etapa de revisión de la aprobación premercado (PMA) pre-evaluación.

PALABRAS CLAVE: Compensador de temperatura, Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua, Dispositivo médico portátil.

ABSTRACT: The mechanical design of a prototype Active Medical Device (DM) for passenger use is presented, which transforms the electric current into thermal energy and conducts controlled heat conduction to the dialysate used in the treatment of Chronic Renal Insufficiency (CRI) by Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis (DPAC). Based on the results of laboratory tests, monitoring the outlet temperature of the dialysate fluid contrasted with the working temperature, it is concluded that it allows the temperature to be manipulated at 36 °C with a variation of ± 1 °C. based on the results of the viscosity doors, it is concluded that it enables the continuous provision of the dialysate fluid by height differential. These results place the prototype in a Technological Maturity Level (TRL'S) concept validation (level 4) and in the pre-market approval (PMA) pre-evaluation approval stage.

KEYWORDS: Temperature device, Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis, Portable medic device.

INTRODUCCIÓN

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) es un serio problema de salud pública [1], [2] que ha alcanzado proporciones epidémicas en centroamérica [3], y figura entre las diez principales causas de muerte en México [4], cuyos altos costos de tratamiento, junto con el incremento en la cantidad de pacientes diagnosticados comprometen la capacidad de respuesta del sistema de salud [5]. Se define como una disminución de la función renal, expresada por un filtrado glomerular (FG) o por un aclaramiento de creatinina estimados < 60 ml/min/1.73 m², o como la presencia de daño renal de forma persistente durante al menos 3 meses [1]. En su manifestación más avanzada, la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) [1], el paciente requiere Terapia de Reemplazo de la función Renal (TRR) para poder vivir [6]. Actualmente, se emplean 3 modalidades de TRR: hemodiálisis, diálisis peritoneal (DP), y el trasplante renal [3].

En su atención en México, históricamente ha predominado la modalidad de TRR por DP [7], siendo la Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua (DPAC) y la Diálisis Peritoneal Automatizada o Ciclada (DPA) las más usadas. Según la NOM-003-SSA3-2010, la DP consiste en el procedimiento terapéutico especializado que utiliza como principio físico-químico la difusión pasiva del agua y solutos de la sangre a través de la membrana peritoneal. La solución se infunde en la cavidad peritoneal, donde se produce el intercambio de electrolitos por difusión y convección, y se elimina el exceso de líquidos por ósmosis, mediante la membrana peritoneal como membrana osmótica. En la DPAC, el paciente realiza la diálisis manualmente varias veces al día, y en la DPA, una máquina la realiza durante la noche [8].

En el tratamiento de IRC por DPAC se observan molestias ocasionadas por el suministro del líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal en el tratamiento de IRC por DPAC. Se identificaron diferentes formas de elevar su temperatura a fin de reducir las molestias por dolor: por un lado, algunas recomendadas, pero con alto costo de adquisición y operación, como el uso de planchas y equipos más sofisticados a base de bandejas calefactoras; por otro, algunas no recomendadas, por entre otros factores el elevado riesgo de sobrecalentamiento local, como el uso de microondas y baños María. Al respecto, nos propusimos como objetivo desarrollar un dispositivo médico de bajo costo y fácil operación, que poseyera como ventajas técnicas frente a estas opciones: menores costos de operación, mayor autonomía del paciente, y manipulación controlada de la temperatura en un rango de 10 a 40 °C, con variación de $\pm 1^\circ\text{C}$.

De modo tal que en este trabajo se presentan el proceso y los resultados de la aplicación de la metodología de principios para innovación TRIZ [9] para la solución del problema técnico identificado: elevar la temperatura del líquido dializante a niveles similares a la temperatura corporal, y mantenerla constante sin que este proceso altere la composición química del fluido.

REFERENTES TEÓRICOS

Para resolver el problema técnico antes mencionado, aplicamos los principios de la metodología TRIZ para desarrollar una solución técnica. En los requerimientos se consideró indispensable, además, que esta fuera portable, de control automatizado, de bajo costo, de operación sencilla, segura, resistente a impactos, con necesidades de mantenimiento básico, y de larga vida útil. Tomando como base todas estas estipulaciones y la conformidad con los parámetros de calidad definidos por el marco normativo, se diseñó un prototipo al que se realizaron pruebas de monitoreo de temperatura contra la temperatura de trabajo y de viscosidad, y, con base en los resultados se realizaron ajustes.

Por su parte, las tecnologías sanitarias o tecnologías en salud se refieren a la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos estructurados en forma de dispositivos, medi-

camentos, vacunas, procedimientos y sistemas elaborados para resolver problemas sanitarios y mejorar la calidad de vida [10]. Según la NOM-137-SSA1-2008, Etiquetado de dispositivos médicos, los dispositivos médicos se utilizan para prevenir, diagnosticar o monitorear enfermedades en humanos, como auxiliares en el tratamiento de las mismas y de la discapacidad, así como en el reemplazo, corrección, restauración o modificación de la anatomía o procesos fisiológicos humanos. Incluyen los productos de las siguientes categorías: equipo médico, prótesis, órtesis, ayudas funcionales, agentes de diagnóstico, insumos de uso odontológico, materiales quirúrgicos y de curación y productos higiénicos [11].

El prototipo desarrollado se define como una aplicación de la termodinámica y la transferencia de calor en el área médica. El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), y se puede definir como la ciencia de la energía [12]. La transferencia de calor se define como la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía entre cuerpos materiales, producto de una diferencia de temperatura, y pretende no solo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia [13]. A decir de Çengel y Boles [12], la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. Cuando colisionan dos moléculas que poseen energías cinéticas distintas, parte de esta energía proveniente de la molécula más energética (mayor temperatura) se transfiere a la de menor energía (menor temperatura) [12]. En otras palabras, la energía se puede transferir mediante interacciones de un sistema con su alrededor [14].

Se conocen tres modos de transferir calor: conducción, convección y radiación [12], [13]. Todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura y todos pasan del ámbito de alta temperatura a uno de menor temperatura [12]. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones, y puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases [12].

Por otra parte, en el estado de la técnica, se llama compensador de temperatura a un sistema de ingeniería que intercambia calor, de un material de alta temperatura a otro de menor temperatura. En nuestro caso, el fenómeno físico que utilizaremos para que el líquido deslizando eleve su temperatura se conoce como transferencia de calor por conducción y se realiza transformando energía eléctrica en energía térmica de manera controlada, con el uso de resistencias eléctricas y de controladores eléctricos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para determinar las características del prototipo aplicamos los principios de la metodología TRIZ [9], modelo de solución de un problema, agrupando sus 40 pasos en 5 etapas: **1) Identificación del problema y análisis de requerimien-**

tos normativos para su solución. El problema técnico identificado son las molestias ocasionadas por el suministro del líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal a pacientes en tratamiento de Enfermedad Renal Crónica (ERC) por DPAC. Como marco normativo se identificaron: Ley General de Salud (última reforma DOF 24-12-2018) y Reglamento de Insumos para la Salud (última reforma DOF 14-03-2014), la NOM-137-SSA1-2008 Etiquetado de dispositivos médicos, la NOM-240-SSA1-2012 Instalación y operación de la tecnovigilancia, y la NOM-241-SSA1-2012 Buenas prácticas de fabricación para establecimientos dedicados a la fabricación de dispositivos médicos y su adición de los puntos 10.1.14, 10.1.15 y 22.

Según el artículo 82 del Reglamento de Insumos para la salud, la fabricación, distribución, comercialización o uso de dispositivos médicos en México, requiere contar con Registro Sanitario. Este, consiste en un permiso otorgado por el Gobierno Federal, una vez que el dispositivo demuestra con evidencias documentadas ser seguro, eficaz y de calidad. A partir de 2005, estos registros cuentan con vigencia renovable de 5 años que puede revocarse o revisarse de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Salud, y el Reglamento [15].

2) Estudio comparativo de máquinas con patentes de funcionamiento similar para confirmar la mejora. Actualmente, se conocen 3 equipos médicos autorizados en el Cuadro Básico y Catálogo de Instrumental y Equipo Médico (Tomo I, II y su Anexo Sets Quirúrgicos) con nombres genéricos: equipo portátil de diálisis peritoneal automatizada para uso pediátrico y adulto (clave 531.829.0599), máquina cicladora automática de ocho espigas (clave 531.296.0122) y sistema automatizado para diálisis peritoneal de once espigas (clave 531.296.0130) [16]. Los dos sistemas no portátiles se encuentran diseñados para atender a más de un paciente de forma simultánea y trabajar con un mínimo de 8 bolsas. Debido a su alto costo de adquisición y operación, estos equipos se utilizan solo en hospitales.

Además, se conoce una bolsa de solución de diálisis peritoneal auto-calentable en proceso de patente en México, solicitada por Fresenius Medical Care Holdings. La bolsa puede tener un parche de calentamiento, no eléctrico, adherido o fijado a la superficie externa. El parche de calentamiento, no eléctrico, puede incluir un agente activable que experimenta una reacción exotérmica cuando se activa para generar suficiente calor, tras la activación, para calentar los contenidos de la bolsa a al menos 35°C (95°F). También se conocen parches de calentamiento no eléctrico que están separados de la bolsa de solución para diálisis peritoneal [17].

3) Identificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades, y amenazas de los equipos de mayor uso en el sector salud. En este ejercicio, se establecieron como requerimientos de diseño: la capacidad de elevar la temperatura de la solución dializante a niveles similares a la temperatura corporal, sin que este proceso altere la composición

química del fluido, además, se consideró indispensable que la solución técnica, a diferencia de los equipos de mayor uso, fuera portable, de control automatizado, de bajo costo, de operación sencilla, segura, resistente a impactos, con necesidades de mantenimiento básico, y de larga vida útil.

4) Construcción de prototipo y descripción del funcionamiento. Tomando como base los prerrequisitos antes expuestos se diseñó un prototipo obteniendo las condiciones que se presentan sobre la base de las figuras 1, 2 y 3. De acuerdo con el número de referencia asignado a cada una de las partes, a continuación, detallamos el funcionamiento del prototipo compensador de temperatura.

En la figura 1 se muestra una vista isométrica del sistema de compensación de temperatura, utilizado para elevar grados centígrados al líquido dializante. En su exterior, comprende un gabinete protector (17) de lámina calibre 25, preferentemente en forma de prisma rectangular que recubre el sistema de compensación de temperatura para bolsas de solución dializante y da soporte al resto de sus partes constitutivas. Puede incluir un dispositivo de sujeción para traslado y un dispositivo que asegure el cerrado de la tapa. Colocados en cantiléver en el gabinete se encuentran los elementos estructurales que a continuación se detallan: conexión del fluido (dializante) entrada (1), conexión de fluido (dializante) salida (2), indicador de temperatura de líquido dializante (3), interruptor ON-OFF (4), foco indicador encendido (5), foco indicador de temperatura (6), control de temperatura variable 0-10-40 °C (7), protector térmico y control eléctrico (8), cámara térmica o compensador de temperatura (9), puerta de acceso (10), entrada de líquido a cámara térmica (11), salida de líquido de cámara térmica (12), terminales eléctricas del elemento (14), coraza aisladora térmica (15), cable de alimentación eléctrica y clavija (16), y gabinete protector (17).

Tomado de expediente solicitud de patente
MX/a/2018/012071.

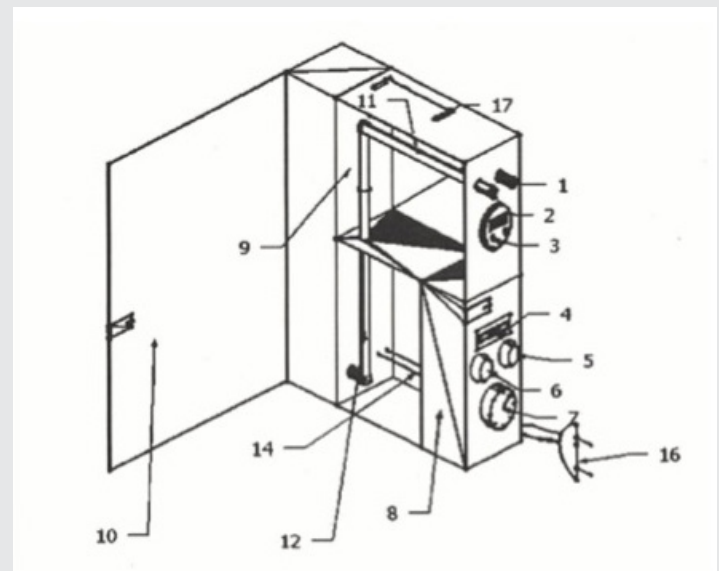


Figura 1. Vista isométrica del sistema de compensación de la temperatura.

En la figura 2 se muestra una vista isométrica del interior de la cámara térmica de forma cilíndrica, tipo cartucho, donde se observan: entrada de líquido a cámara térmica (11), salida de líquido de cámara térmica (12), elemento térmico tipo cartucho (13) -que comprende una resistencia eléctrica a 120V recubierta internamente con óxido de magnesio de propiedades térmicas y envuelta por un tubo de acero inoxidable de grado quirúrgico que se enrolla en espiral-, terminales eléctricas del elemento (14), aislador térmico (15) -que evita la pérdida de temperatura, mantiene el cuerpo térmico a temperatura de trabajo, y evita la transferencia al resto de los componentes-, y sensor de temperatura (18).

El funcionamiento de este cuerpo térmico se manipula mediante el control de temperatura (7) (ver imagen 1), y para su protección está contenido por una cubierta de la cámara térmica (9).

Tomado de expediente solicitud de patente
MX/a/2018/012071.

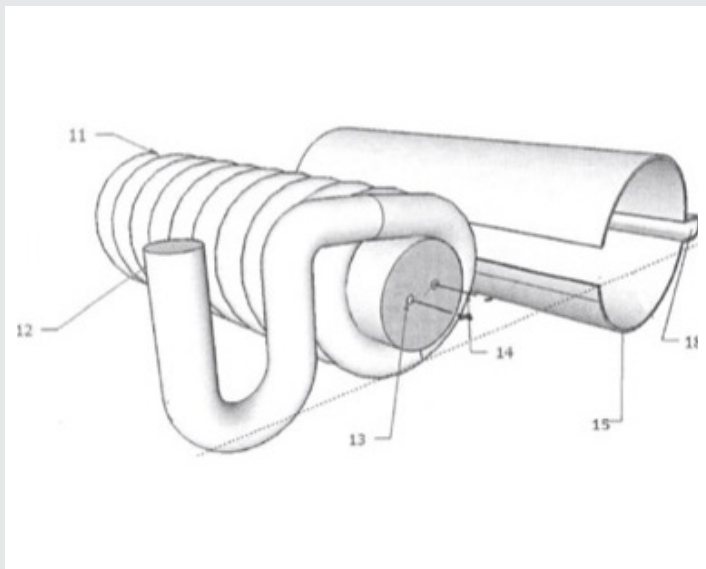


Figura 2. Vista isométrica de la cámara térmica.

La figura 3, muestra el diagrama eléctrico de control del compensador de temperatura. Comprende las siguientes partes: indicador de temperatura de líquido dializante (3), interruptor ON-OFF (4), foco indicador de ON-OFF (5), foco indicador de temperatura (6), control de temperatura variable 0-10-40 °C (7), protector térmico y control eléctrico (8), y elemento térmico tipo cartucho (13).

Tomado de expediente solicitud de patente
MX/a/2018/012071.

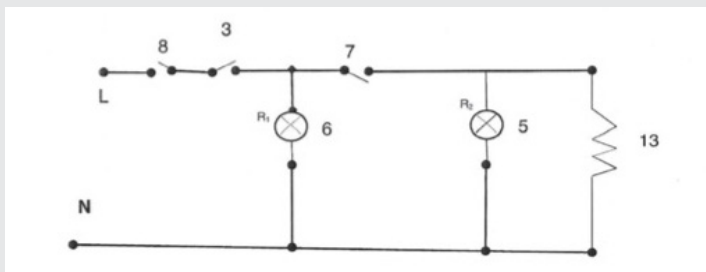


Figura 3. Diagrama eléctrico de control.

La energía eléctrica se utiliza de dos maneras: una para encender la máquina y automatizarla, y otra para transformar-la en energía calorífica.

En su operación, el prototipo permite la entrada de fluido dializante por medio de la conexión de los conductos de la bolsa contenedora al conector (1). Una vez ingresado, permite su tránsito por un tubo de acero, con extremos de entrada (11) y salida (12), que envuelve en forma de espiral al compensador de temperatura (cuerpo térmico) (13). Por conducción de calor, el compensador (13) transfiere temperatura al tubo donde fluye el líquido dializante, que al final se transmite al paciente a temperatura aproximada de 36° C, o a la seleccionada en el termostato. El control (7) tiene la función de graduar la temperatura de salida, dicho de otro modo, al aumentar la temperatura de salida el control apagará la resistencia eléctrica para que la temperatura no se eleve, o por el contrario si esta temperatura disminuye, la resistencia continuará trabajando para que la temperatura de la solución no se disminuya, y de esta forma permanezca constante.

Por su parte, el mecanismo de control permite manipular la temperatura del líquido dializante empleado en el procedimiento de DPAC, en un rango de 10 a 40 °C, con variación de ±1°C. Actúa directamente sobre el cuerpo térmico tipo cartucho (13), regulándolo por medio de sistemas automatizados de control de temperatura (7) -relevador electrónico, estado sólido, 90-280V. 50/60 hz- y de un sensor de temperatura (18) -modelo TU 16-5 amperes y 120-250V con capilar bulbo largo y resistencia eléctrica de 120V-. Además, el equipo tiene una pantalla digital que muestra la temperatura de salida del líquido dializante, garantizando la temperatura a la que se suministra al paciente.

5) Evaluación y ajustes. En esta fase se realizaron pruebas de laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo y pruebas de viscosidad, para garantizar el funcionamiento del equipo y el análisis de la cámara térmica que se presenta en el apartado de resultados. Con base en los resultados se realizaron ajustes, dando como resultado el prototipo en las condiciones que se reportan.

RESULTADOS

El diseño propuesto permite contar con un dispositivo ergonómico de fácil transportación, de dimensiones: 210 X 290 X 7 mm y de peso 3 kg. La selección de materiales propuestos permite, además: un uso a bajo costo, que no requiere personal con alta calificación técnica para operarlo, resistencia a impactos propios del uso normal, necesidades de mantenimiento mínimas y una vida útil larga. Además, el sistema de control eléctrico y las condiciones de aislamiento de la cámara térmica garantizan que su operación sea controlada y segura.

Las pruebas realizadas comprobaron que el prototipo es capaz de mantener constante la temperatura del líquido dializador empleado en el procedimiento de la DPAC, y de

controlarla para mantenerla en los niveles de temperatura corporal, evitando variaciones por interacción con la temperatura ambiente; condiciones que disminuyen las molestias corporales asociadas a este procedimiento, así como la excesiva manipulación de catéteres por reemplazo de bolsas de líquido dializante.

Análisis de la cámara térmica

A continuación, se muestra la evaluación de funcionamiento de la cámara térmica, suponiendo una temperatura de trabajo de 36°C y los datos de operación contenidos en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de operación del prototipo.

Temperaturas:	Propiedades del tubo de acero inoxidable:
$T_{\text{entrada}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Cr=18% Ni= 8% K=16.3
$T_{\text{salida}} = 36^{\circ}$	$\Phi_{\text{interior}} = 0.9525\text{ cm}$ $\Phi_{\text{exterior}} = 1.27\text{ cm}$ K= 16.3 W/m-°C

Tomado de Holman (1998)

Se considera el intercambiador de calor como un sistema radial de transferencia de calor por conducción, (convección y radiación no se consideran para efectos de la operación del prototipo ya que su transferencia es nula). Por lo tanto, la transferencia de calor que se obtiene del calefactor por unidad de longitud es:

$$\frac{q}{l} = \frac{4\pi k(T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_e}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Aplicando los valores en la ecuación, tenemos:

$$\frac{q}{l} = \frac{4\pi \cdot 16.3 \cdot (36^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{0.009525} - \frac{1}{0.0127}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\frac{q}{l} = 85.86.62\text{ W/m} \quad \text{Ec. (3)}$$

Considerando el espesor crítico de transferencia de calor del prototipo calefactor se consideró conveniente emplear un aislante de lana mineral envolviendo todo el calefactor para evitar fuga de temperatura a sus alrededores. De esta manera, la cámara térmica se utiliza sin riesgo de dañar la máquina, a su operario o al paciente. Según las propiedades de la lana mineral de 160.18 kg/cm², sometida a una temperatura de trabajo de 32 °C, y considerando que cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de k= 0.040 W/m°C; se requieren 5 cm. aproximados de radio de resistencia.

Al no disponer de datos específicos de factor de suciedad de solución dializante, debido a su contenido de sales, se toma como referencia el agua de mar, con un valor de 9x10⁻⁵ m² * °C/W [13] (ver figura 4); lo que significa que aunque este fenómeno no afecta el rendimiento de la máquina, considerando 6 a 8 diálisis por día, en el manual de uso se considera la limpieza interna de la tubería con fines de mantenimiento preventivo.

Tabla 2. Factores de suciedad comunes.

Tipo de fluido	Factor de suciedad h * ft ² * °F/Btu	m ² * °C/W
Agua de mar, por debajo de 51,7°C	0,0005	0,00009
Por encima de 51,7°C	0,001	0,002
Agua de alimentación de caldera tratada, por encima de 51,7°C	0,001	0,0002
Fuel oil	0,005	0,0009
Aceite de templar	0,004	0,0007
Vapores de alcohol	0,0005	0,00009
Vapor de agua, libre de aceite	0,0005	0,00009
Aire industrial	0,002	0,0004
Líquido refrigerante	0,001	0,0002

Tomado de Holman (1998)

Por su relevancia con relación a trabajos previos relacionados con la solución del problema técnico, el prototipo cuenta con una solicitud de patente esperando su publicación en gaceta oficial, expediente MX/a/2018/012071, de la cual es solicitante el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado.

CONCLUSIONES

El prototipo propuesto es un Dispositivo Médico (DM) Activo Terapéutico de uso pasajero [10], sistema de ingeniería perteneciente al campo de la termodinámica que transforma corriente eléctrica en energía térmica y realiza la conducción controlada de calor al líquido dializante empleado en el tratamiento de la IRC por DPAC. De acuerdo a su categoría de uso, es un Equipo Médico, que de acuerdo al riesgo sanitario es de Clase I.

Con base en los resultados de las pruebas de laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo, se concluye que el DM permite la manipulación de la temperatura a 36 °C con variación de ±1 °C; y con base en los resultados de las pruebas de viscosidad, se concluye que posibilita la provisión continua del fluido dializante por diferencial de altura.

Una vez evaluada en laboratorio, se ha comprobado que la invención puede ser portátil y es capaz de solucionar el problema técnico identificado, y que posee además las siguientes ventajas respecto al resto de las soluciones conocidas: que promueve la autonomía de los pacientes, pues se pueden realizar la DPAC en su hogar, lo que conlleva un ahorro financiero por traslado, y reduce su dependencia de los familiares. Factores que en su conjunto mejoran la calidad de vida del paciente.

Respecto a su nivel de desarrollo, se puede definir como una tecnología con componentes de alta confiabilidad que se sitúa en un Nivel de Madurez Tecnológica (TRL'S) validación de concepto (nivel 4). Como parte del trabajo futuro, el dispositivo médico compensador de temperatura para bolsa de solución dializante se validará en laboratorio en condiciones que simulan un entorno real, para que posteriormente se pueda demostrar en un ambiente relevante, considerando todos los aspectos de manufacturabilidad, pruebas de usuarios a baja escala, y diseño de instalaciones de planta de manufactura. Realizadas estas etapas se gestionará la solicitud de Registro Sanitario de dispositivos médicos para productos de fabricación nacional ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Una vez que la solicitud de protección

de propiedad intelectual sea publicada en la gaceta y que cuente con el registro sanitario, el prototipo se encontrará en posibilidades de generar acuerdos de licencia para proporcionar autorización a terceros para utilizar dichos derechos a cambio de un pago convenido (tasa o regalía), incluido el sistema público de salud, o empresas comercializadoras de productos médicos. De igual forma, nos encontraremos también en condiciones de poder realizar su venta directa público en general.

BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Soriano Cabrera, "Definición y clasificación de los estadios de la enfermedad renal crónica. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de riesgo de enfermedad renal crónica", *Nefrología*, vol. 24, pp. 27-34, dic. 2004.

[2] J. A. Tamayo y Orozco y H. S. Quirós Lastiri, *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla*. Intersistemas S.A. de C.V., 2016.

[3] W. Hoy y P. Ordunez, Eds., *Epidemia de enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica. Definición de casos, base metodológica y enfoques para la vigilancia de salud pública*. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud, 2017.

[4] "COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 525/18", INEGI, Comunicado de Prensa y Nota Técnica 525/18, oct. 2018.

[5] M. López Cervantes, Ed., *Enfermedad renal crónica y su atención mediante tratamiento sustitutivo en México*, Primera edición. México, D. F., 2010.

[6] A. Venado Estrada, J. A. Moreno López, M. Rodríguez Alvarado, y M. López Cervantes, "Insuficiencia Renal Crónica", Unidad de Proyectos Especiales. Universidad Nacional Autónoma de México.

[7] J. D. Amato Martínez, "Grandes retos de la enfermedad renal crónica en México", en *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla*, 2016.

[8] OMS, "Formulario Modelo de la OMS 2004", 2004. [En línea]. Disponible en: <https://apps.who.int/medicinedocs/es/d/Js5422s/27.html#Js5422s.27.1>. [Consultado: 11-jun-2019].

[9] P. Reyes, "Método TRIZ". Instituto Politécnico Nacional, 18-abr-2004.

[10] CENETEC-Salud, "Guía para la Evaluación Clínica de Dispositivos Médicos", 2017.

[11] DOF, "NORMA Oficial Mexicana NOM-137-SSA1-2008, Etiquetado de dispositivos médicos", 03-

ago-2008. [En línea]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3570/SALUD13_C/SALUD13_C.htm. [Consultado: 24-oct-2019].

[12] Y. A. Çengel y M. A. Boles, *TERMODINÁMICA*, 7a. edición. México, D. F., 2012.

[13] J. P. Holman, *Transferencia de calor*, 8a. Edición (1a. en español). Madrid: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U., 1998.

[14] F. Incropera y D. De Witt, *Fundamentos de transferencia de calor*, 4a. Edición. México: Prentice Hall, 1999.

[15] COFEPRIS, "Registros Sanitarios | Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios | Gobierno | gob.mx", 22-sep-2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/registros>. [Consultado: 27-ene-2020].

[16] DOF, Edición 2018 del Cuadro Básico y Catálogo de Instrumental y Equipo Médico (Tomo I, II y su Anexo Sets Quirúrgicos). 2019.

[17] J. Barone, A. Conlon, J. Barron, y M. Niesslein, "Self-Warming Peritoneal Dialysis Solution Bag", WO/2015/020828, 12-feb-2015.



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Detección de fallas en baleros en generadores de baja potencia mediante señales vibroacústicas

RESUMEN: En el presente trabajo se realiza la detección de condiciones de rodamientos dañados en aerogeneradores de baja potencia mediante el análisis de señales vibroacústicas. Para ello, se hace uso de un túnel de viento para operar al aerogenerador a diferentes velocidades, junto con un algoritmo propuesto, una tarjeta de adquisición de datos y sensores de velocidad de rotación y vibroacústicos. En uno de los rodamientos se realizó una perforación en la pista exterior de 1.5 mm para la emulación de la falla. Mediante el uso de la transformada rápida de Fourier (FFT), se analiza la evolución de las componentes armónicas respecto a la velocidad de rotación del sistema, la cual permitió una caracterización de las vibraciones mecánicas en el aerogenerador para diagnosticar la presencia de fallas en rodamientos.

PALABRAS CLAVE: Aerogeneradores, Análisis de vibraciones, Calidad de la energía, Fuentes alternas, Túnel de viento.

ABSTRACT: In this work, the detection of damaged bearing conditions in low power wind turbines is performed by vibroacoustic analysis. To do this, a wind tunnel is used to operate the wind turbine at different speeds, together with a program carried out in MATLAB, a data acquisition card and rotational speed and vibroacoustic sensors. In said bearing a 1.5 mm outer race was drilled. Through the use of the fast Fourier transform (FFT), the evolution of the harmonic components regarding the speed of rotation of the system is analyzed, which allowed a characterization of the mechanical vibrations in the wind turbine to diagnose the presence of bearing failures

KEYWORDS: Wind turbines, Vibration analysis, Fault diagnosis, Alternate sources, Wind tunnel.



Colaboración

David Granados Lieberman; José Roberto Razo Hernández; José Guadalupe Barrera Valdés; Fernando Jurado Pérez, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha dado un crecimiento en el interés de generar energía por medio de recursos naturales renovables, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, dado que la producción de energía eléctrica mediante la quema de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas tiene un gran impacto negativo al mismo [1]. Entre las consideradas energías renovables se encuentran la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, entre otras. De todas ellas, la energía eólica ha tenido un gran impacto en el estudio y desarrollo de tecnologías a nivel mundial. La energía eólica es aquella que utiliza la fuerza del viento para la generación de electricidad, cuyo principal medio de obtención son los aerogeneradores, cuyo desarrollo más reciente ha crecido de la mano de modernos desarrollos en los campos de la electrónica, materiales, diseño mecánico y eléctrico, entre otros.

El desarrollo de los aerogeneradores ha tenido una gran evolución a lo largo de la historia. En este sentido la primer turbina eólica o aerogenerador fue diseñado a principios del siglo XX por el Danés Poul La Cour. El viento es la forma indirecta de la energía solar y el sol siempre la repone. El viento es causado por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre por el sol. Se ha estimado que aproximadamente 10 millones de MW de energía están continuamente disponibles en el viento de la tierra [2]. Las turbinas eólicas se utilizan para aprovechar el potencial de la energía eólica. La confiabilidad de la turbina eólica es crítica para extraer esta cantidad máxima de energía del viento [3]. Para el 2012, ya se desarrollaron métodos no invasivos y de bajo costo para el pre-diagnóstico de fallas en la máquina eléctrica de grandes aerogeneradores [4], ya que Los aerogeneradores modernos generan una parte importante de la energía eléctrica mundial, predominando su uso en Alemania, USA y España. Debido a la importancia que es el contar con un aerogenerador en el mejor estado posible, se han diseña-

do diferentes metodologías para el diagnóstico y detección de fallas en aerogeneradores. De acuerdo con [5], entre las más utilizadas para esta tarea, se tiene el monitoreo de vibraciones, de torque, de temperatura y de corriente/potencia, siendo la última la más utilizada. Dentro de las fallas eléctricas más comunes reportadas en la literatura se encuentra la de cortocircuito en el rotor y en el estator [6] y la de variación de campo magnético [4-5]. Por otro lado, las fallas mecánicas representan un problema de consideración mayor, ya que, si bien no se presentan con la misma reiteración que las fallas eléctricas, estas, causan un impacto notable desde el aspecto de seguridad al existir el riesgo de desprenderse algunas de sus partes móviles poniendo en riesgo áreas cercanas, asimismo pérdidas generadas por falta de dicha energía en procesos que depende directamente de ésta. Las fallas mecánicas más comunes reportadas son las desgaste o rotura de los dientes de la caja de cambios [7-8], desbalance o asimetría de aspas, fracturas o fisuras de aspas y fallas en los rodamientos [5] desbalance o excentricidad de la flecha del generador [9].

El objetivo de este proyecto es crear un sistema de diagnóstico de fallas en rodamientos para aerogeneradores, para ello se desarrolla un sistema de monitoreo que permite la medición y registro de las variables involucradas en la operación de un aerogenerador de pequeña potencia, así como el control de un túnel de viento necesario para la realización de diversas pruebas. A partir de la información de un micrófono de contacto y un encoder se determinan las componentes armónicas de las vibraciones acústicas producidas en función de la velocidad del equipo.

MÉTODOLOGIA

La metodología propuesta se muestra en la Figura 1 y se describe a continuación:

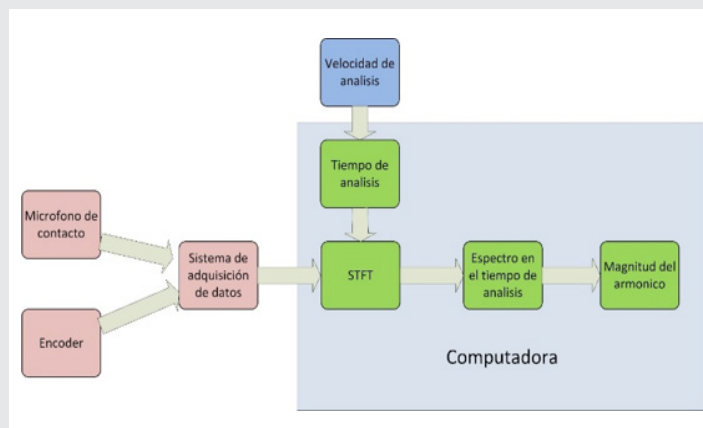


Figura 1. Diagrama de la metodología

Primeramente, la falla de balero dañado es emulada mediante la realización de una perforación en la cara externa, la cual tiene un diámetro de 1 mm. Para la rea-

lización de las pruebas se utiliza un túnel de viento a velocidad constante de 4 m/s en condiciones de aerogenerador en buen estado (sano) como cuando el balero tiene falla. En las pruebas realizadas se adquieren la información del micrófono y encoder mediante un sistema a de adquisición de datos, lo cual tiene una comunicación USB a la computadora o PC; posteriormente se aplica la transformada corta de Fourier (STFT, de sus siglas en inglés *Short Time Fourier Transform*). Así mismo, se realiza un análisis de las pruebas a diferentes velocidades de operación, ubicando el tiempo en el cual el aerogenerador alcanzó la velocidad seleccionada y analizando el contenido armónico en dicho momento. Por último, se determina la magnitud de la componente armónica que indica la falla (F_{fpi}) en rodamientos mediante la siguiente ecuación:

$$F_{fpi} = \frac{Nb}{2} * n \frac{\{1 + Db * \cos(\beta)\}}{Dc} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde Nb es el número de bolas o rodillos, Db es el diámetro de bola o rodillo, Dc es el diámetro entre pistas, β es el ángulo de contacto y n es la velocidad del aerogenerador

La puesta del experimento se muestra en la Figura 2,

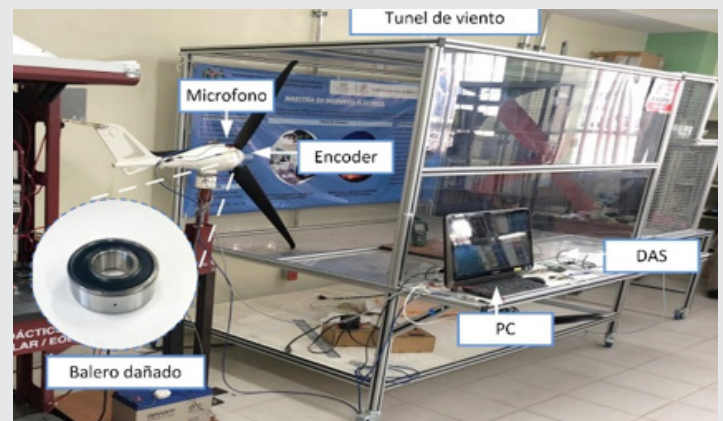


Figura 2. Puesta del experimento

Así mismo, los materiales utilizados para la conformación de la puesta del experimento se enlista a continuación:

- Aerogenerador Sunforce E400W: Generador eólico de 12Vcd, que puede suministrar 400 W. Es el objeto de estudio principal de este trabajo, el cual se estudiará en condición sana, y con fallas inducidas, para su análisis y comparación.
- DAS NI-USB 6211 National Instrument: Modulo de adquisición de datos (DAS) con velocidades de muestro hasta 250KS/s y comunicación USB.
- Convertidor de Frecuencia CFW-08 WEG y motor 3 HP, 220 V: Equipos para controlar el giro de la turbina del túnel de viento.
- Micrófono de Contacto CM01-B TE connectivity: El micrófono está basado en una película piezoeléct-

trica combinada con un preamplificador electrónico para proporcionar un sonido único o captación de vibraciones con salida amortiguada.

- Software MATLAB 2014: Entorno de programación y desarrollo de aplicaciones orientado al cálculo matemático, integrando funciones de análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica.
- Enconder magnético: Para la medición de velocidad del aerogenerador, los sensores son colocados junto con 40 imanes de neodimio, lo cual da como resultado una resolución de 20 pulsos por revolución.

RESULTADOS

En la Figura 3a) se observa la señal analógica obtenida por el micrófono de contacto y posteriormente en la Figura 3b) se muestra la velocidad instantánea de rotación de las aspas.

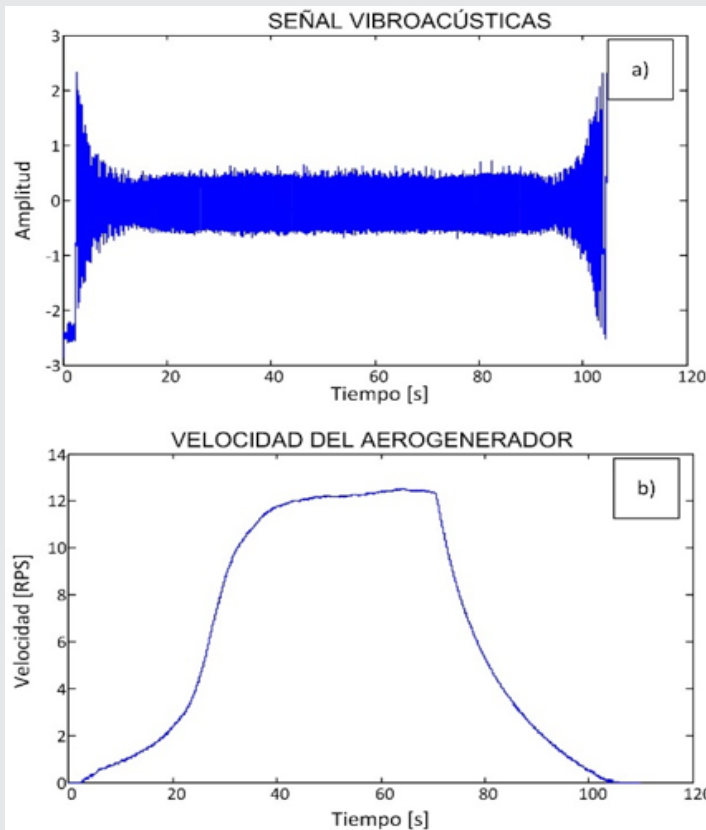


Figura 3. Señales medidas: a) vibroacústicas, b) Velocidad en RPS

A partir de la información de estas señales se realiza un espectrograma implementado en Matlab, el cual se realiza utilizando la transformada corta de Fourier y proporciona un gráfico en 3D (magnitud-tiempo-frecuencia) que permite analizar la señal como se observa en la Figura 4. En el espectrograma se muestra la presencia de curvas similares al comportamiento de la velocidad de rotación del aerogenerador o velocidad instantánea lo cual nos dice que nuestra medición de velocidad es correcta ya que, al aumentar la velocidad de rotación aumenta la frecuencia sonora que emite la

falla. Así mismo, se evalúa la función de la ec (1) ante diferentes velocidades y se grafica en la línea punteada negra. Además se marca mediante un rectángulo la ventana de análisis a una velocidad específica de 3 rps.

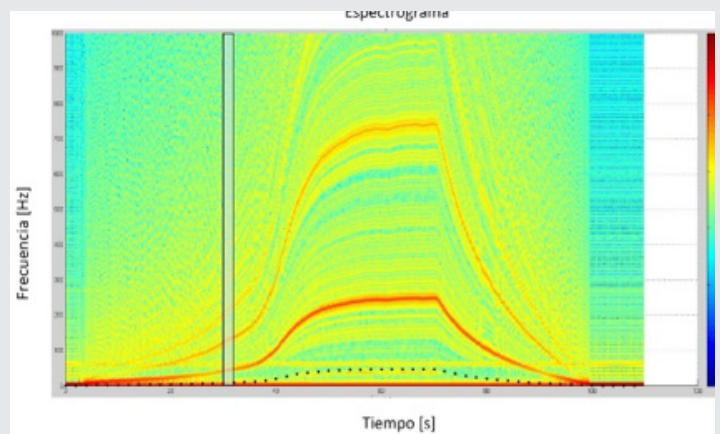


Figura 4. Espectrograma obtenido de la señal acústica.

En la Figura 5 se muestran los armónicos en dicha las ventanas de análisis, esto permite distinguir con claridad la presencia de las componentes armónicas y determinar la magnitud de la componente frecuencia característica de la falla, Ffpi.

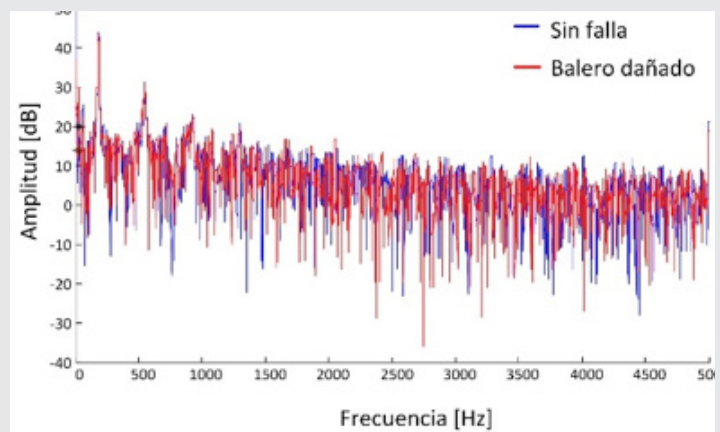


Figura 5. Transformada de Fourier a la velocidad de análisis.

Los resultados de las magnitudes armónicas a 3 diferentes velocidades (3, 6 y 9 rps) son mostrados en la Tabla 1, la cual indica la velocidad de rotación analizada, la frecuencia de la componente de falla, y las magnitudes de esta componente en condiciones del aerogenerador sin falla y con falla en el balero.

Tabla 1. Resultados de las pruebas ante diferentes velocidades.

Velocidad [fps]	Ffpi [Hz]	Magnitud en Sano [dB]	Magnitud con Falla [dB]
3	11.3725	16.6	23.78
6	22.7451	17.57	20.21
9	34.1176	17.22	30
12	45.4902	24.48	32.02

Finalmente, los valores de la Tabla 1 son gráficos en la figura 6.

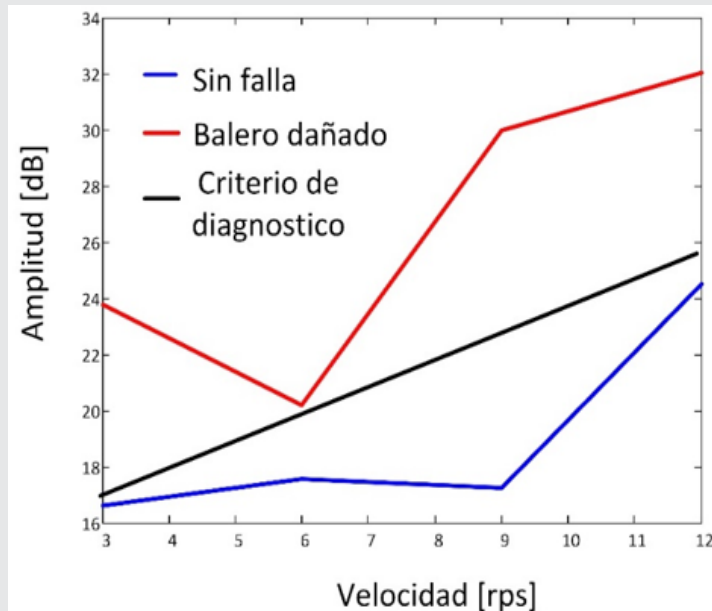


Figura 6. Magnitudes de la componente de falla a diferentes velocidades

En base a los resultados obtenidos se propone un umbral lineal dependiente de la velocidad como criterio de diagnóstico (línea negra), el cual indique que a partir de este umbral existe la presencia de una falla en rodamientos. Este criterio puede servir como protección y detener la operación del aerogenerador mediante frenado y así evitar una falla más severa.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente proyecto muestran la viabilidad de la metodología propuesta analizando las magnitudes de la componente de falla, la cual puede ser clasificada mediante una función lineal como criterio de diagnóstico y así implementar un sistema de alarmas o paros de emergencia que permita detener el equipo a tiempo antes de que ocurra una falla más severa. Se logró emular el funcionamiento de un aerogenerador con condiciones de operación normal y bajo condiciones de fallas en rodamientos, esto permitió analizar las componentes frecuenciales mediante la STFT, centrando el análisis en la frecuencia de falla en baleros a diferentes velocidades de operación del aerogenerador. Por otra parte, se tiene como prospectiva el mejoramiento de las señales adquiridas para poder detectar el nivel de severidad de la falla e implementación de algoritmos de clasificación inteligente como redes neuronales y lógica difusa.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524.

[2] Herbert, G. J., Iniyan, S., Sreevalsan, E., & Rajapandian, S. (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 11(6), 1117-1145.

[3] Hameed, Z., Hong, Y.S., Cho, Y. M., Ahn, S. H., Song, C.K. 2009. Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review. Elsevier.

[4] di Prátula, H. R., Guillermo, E., Rossi, A., Bocero, R. 2012. Turbinas Eólicas: Optimización en el Pre-Diagnóstico de Fallas en el Generador. *Información Tecnológica Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires*.

[5] Gong, X. 2012. Online Nonintrusive Condition Monitoring And Fault Detection For Wind Turbines. Ph. D Thesis University of Lebraska-Lincoln.

[6] Djurovic, S., Crabtree, C. J., Tavner, P. J., Smith, A. C. 2011. Condition monitoring of wind turbine induction generators with rotor electrical asymmetry. *IET Journals*.

[7] Hajnayeb, A., Ghasemloonia, A., Khadem, S.E., Moradi, M. H. 2011. Application and comparison of an ANN-based feature selection method and the genetic algorithm in gearbox fault diagnosis. Elsevier.

[8] Saravanan, N., Ramachandran, K.I. 2009. Incipient gear box fault diagnosis using discrete wavelet transform (DWT) for feature extraction and classification using artificial neural network (ANN). Elsevier.

[9] Hang, J., Zhang, J., Cheng, M. 2013. Fault diagnosis of wind turbine based on multi-sensors information fusion technology. *IET Journals*.



Tierra,
Medio Ambiente
y Energía

Ingeniantes

Sistema trazador de curvas voltaje, corriente con ajuste y estimación de parámetros usando propuesta metodológica



Colaboración

Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Universidad Politécnica de Puebla

RESUMEN: El trabajo presenta la implementación de un sistema trazador de curvas voltaje corriente (VI), basado en un sistema de medición de corrientes por medio de un electrómetro Keithley 6517B y un sistema de control de voltaje basado en el mismo instrumento. Este nuevo sistema ha permitido evaluar los parámetros de desempeño y estimar los parámetros eléctricos de celda solar comercial y orgánica.

PALABRAS CLAVE: Fotovoltaico, ajuste, electrómetro, parámetros de desempeño, parámetros eléctricos.

ABSTRACT: The work present the implementation of a voltage current (VI) curve tracer system, based on a current measurement system by using of a Keithley 6517B electrometer, and a voltage control system based on the same instrument. This new system has allowed to evaluate the performance parameters and estimate the electrical parameters of the commercial solar cell and organic.

KEYWORDS: Photovoltaic, adjustment, electrometer, performance parameters, electric parameters.

INTRODUCCIÓN

Las curvas VI obtenidas de un dispositivo semiconductor y en particular de un dispositivo fotovoltaico son referentes de su rendimiento. Pero este comportamiento puede ser afectado por múltiples factores que intervienen durante su vida, ya sea en el proceso de fabricación o en condiciones de uso diario, por ejemplo: intensidad de radiación incidente, temperatura, suciedad, tiempo de operación, degradación de electrodos, degradación de película activa, entre los principales. Pero el rendimiento no es el único interés en el proceso de fabricación, un aspecto igual de relevante son los parámetros eléctricos, los cuales son el eslabón de unión entre la geometría, tipo de material y tipo de estructura empleada con los resultados del desempeño final. Para conocer los parámetros de desempeño Nelson [1] determina la eficiencia de conversión de potencia, la cual es evaluada a partir de conocer puntos característicos sobre la curva VI en condiciones de iluminación constante. Por otro lado, para determinar los parámetros eléctricos, existen grupos de investigación como el de Muñoz Lasso [2] que han estado enfocados en utilizar modelos teóricos aproximados del diodo con la inclusión de resistencias parasitas, para ajustar estos modelos de acuerdo a las variables eléctricas teóricas. En este sentido, la variedad de modelos empleados ha originado que la estimación de estos parámetros eléctricos sea una tarea compleja. Otro aspecto delicado es el instrumento de medición empleado, el cual ha evolucionado desde multímetros de alta precisión, osciloscopios en modo de trazo XY, entre otros, pero ninguno de ellos garantiza sensibilidades en el rango de pA como se requiere. Y aunque existen dispositivos comerciales especializados que realizan este escaneo de curvas VI a diferentes intensidades de iluminación y con estimación de los parámetros de desempeño. El problema más grande de estos sistemas es su alto costo monetario, así como su limitación para estimar parámetros eléctricos.

Así, la propuesta en el presente trabajo es integrar un sistema que permita obtener experimentalmente las curvas VI, así como proponer una nueva metodología para evaluar parámetros eléctricos

del dispositivo fotovoltaico. Este proceso de estimación marca un diferencial con otros trabajos igualmente desarrollados, como por ejemplo con LabVIEW [3].

MATERIAL Y MÉTODOS

Sistema trazador de curvas

El sistema trazador de curvas está constituido por tres módulos: El primero encargado del proceso de medición, el cual involucra un electrómetro marca Keithley 6517B utilizado como una fuente controlada de voltaje y como un medidor de corriente. El segundo módulo es el control de iluminación, la cual incluye una cámara con control y medición de intensidad de iluminación. Y un tercer módulo es una propuesta metodológica para controlar al electrómetro en forma remota.

La Figura 1 muestra la integración metodológica del sistema trazador de curvas VI en su etapa de caracterización experimental.

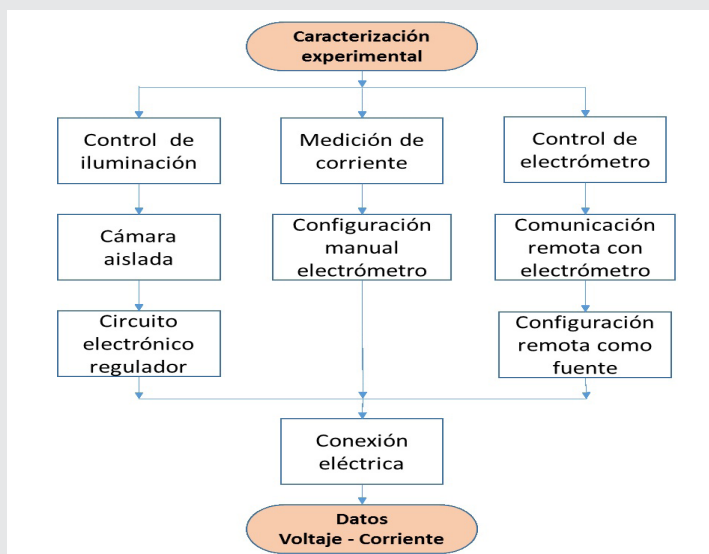


Figura 1. Metodología para implementar la etapa de caracterización experimental.

a) Medición de corriente

El electrómetro Keithley modelo 6517B mostrado en la Figura 2, es el instrumento para realizar el proceso de medición con rangos: en voltaje de $1 \mu V$ a $210 V$ y en corriente de $10 \mu A$ a $21 mA$.



Figura 2. Panel frontal del electrómetro Keithley 6517B.

La configuración empleada es remota usando el puerto RS232 para tener control de sus funciones básicas como fuente de voltaje y medición en la pantalla frontal. Para realizar la conexión del electrómetro con la computadora se utiliza el cable con conector DB9-RS232 y USB.

Los pasos seguidos de configuración del dispositivo en forma manual para comunicación con el puerto.

- 1) Oprimir el botón MENU
- 2) Seleccionar la opción COMMUNICATION
- 3) Seleccionar RS-232, dentro de esta:
- 4) Seleccionar la velocidad de transmisión de baudios BAUD, seleccionar 9600
- 5) Seleccionar TERMINATOR y dentro de esta opción <CR+LF>
- 6) Seleccionar el flujo de control FLOW-CTRL y dentro de esta opción NONE (ninguna).

El instrumento durante su operación de medición debe de seguir los siguientes pasos, para realizar la medición de corriente con corrección en cero según el manual del dispositivo [4].

- 1) Seleccione la función V ó I
- 2) Presione Z-CHK para habilitar Zero Check
- 3) Seleccione el rango para la medición
- 4) Presiona REL para poner a cero el instrumento
- 5) Presione Z-CHK para deshabilitar la comprobación de cero
- 6) Las lecturas ahora se pueden tomar de la manera normal

La forma de conectar es usando cable triaxial (Triaxi) modelo 237-ALG-2 con 3 ranuras en un conector BNC en un extremo y tres pinzas de cocodrilo de bajo ruido en el otro. En la Figura 3 se presenta el esquema eléctrico de conexión de la fuente de voltaje del electrómetro, señalado con la terminal positiva (roja) y la terminal negativa (negra), así como su medidor de corriente.

En el esquema de conexión se puede apreciar las terminales (rojo y negro) usadas para alimentación y la tercera terminal (verde) es utilizada para protección contra descargas eléctricas. La celda solar es conectada en serie para medir la corriente.

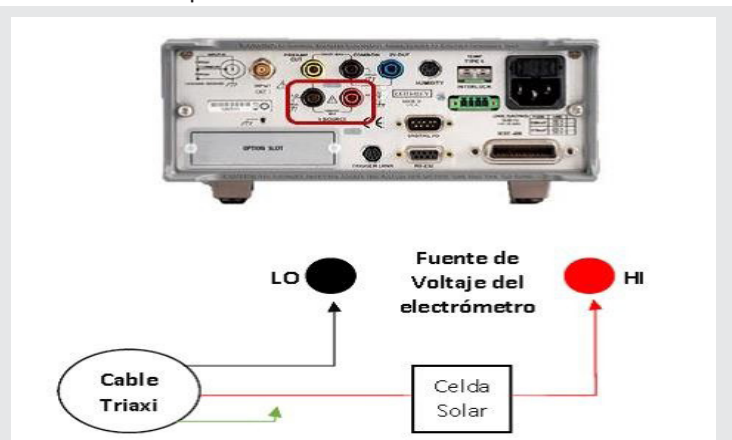


Figura 3. Esquema eléctrico de conexión para medir corriente con voltaje aplicado usando el electrómetro.

b) Control de iluminación

Para iluminar el dispositivo fotovoltaico se requiere un sistema ópticamente aislado, que elimine fuentes no deseables como es el sol o alguna lámpara externa al experimento. En la figura 4 se muestra el espacio aislado creado para iluminar el dispositivo fotovoltaico.

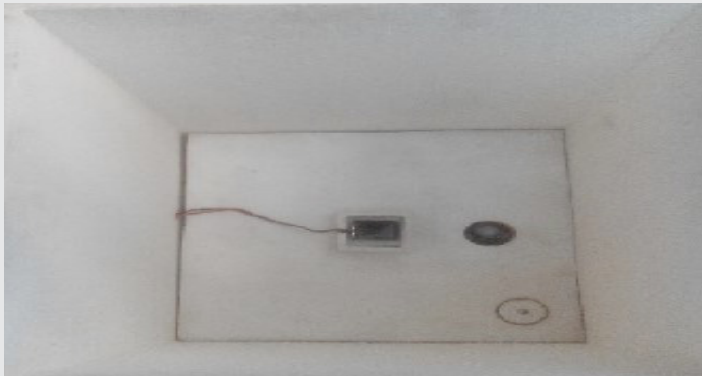


Figura 4. Vista superior de la cámara para el control de iluminación

La cámara es un espacio cerrado de 25 cm X 25 cm X 40 cm, el cual contiene al fondo y en el centro el dispositivo fotovoltaico y más hacia la derecha un orificio que permite el acceso de la iluminación hacia un sensor de potencia óptica. Este sensor está conectado a un medidor de potencia solar H115 de la marca NAHEIM SCIENTIFIC, con el cual se determina la irradiancia en unidades del sistema internacional de W/m^2 . Las paredes de la cámara son blancas para permitir la máxima homogeneidad de la iluminación, la cual es provista por una lámpara de luz blanca a 100W de potencia eléctrica.

La intensidad de iluminación es regulada con un circuito basado en un control de fase de la señal de alimentación eléctrica de corriente alterna, por medio de un triac y un diac. La Figura 5 muestra el diagrama del circuito implementado, obteniendo variaciones de irradiancia de 0 a $550 W/m^2$.

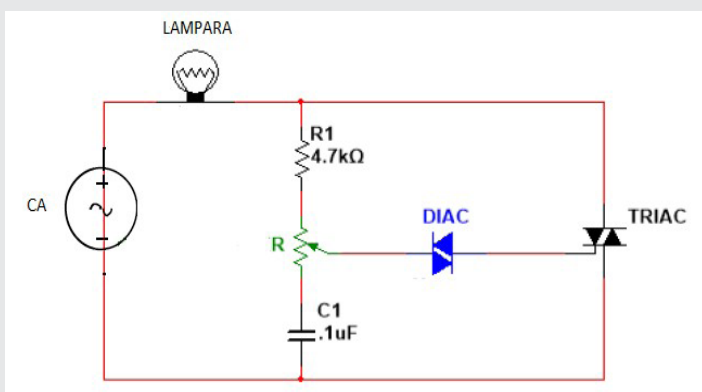


Figura 5. Diagrama del circuito eléctrico para el control de intensidad de iluminación.

Con este control de intensidad podemos obtener curvas VI en oscuridad, a partir de la cual se pueden esti-

mar parámetros básicos de la celda solar en aproximación de un diodo y también se pueden obtener curvas VI con variación de intensidad de iluminación, a partir de las cuales se pueden estimar los parámetros de desempeño y eléctricos.

c) Control del electrómetro

La interfaz de control está basado en comunicación a través del puerto serial o puerto IEEE 488 (GPIB). En la Figura 6 se presenta el diagrama a flujo para controlar la excitación de voltaje. El electrómetro se programa la fuente con incrementos de 0.02 V.

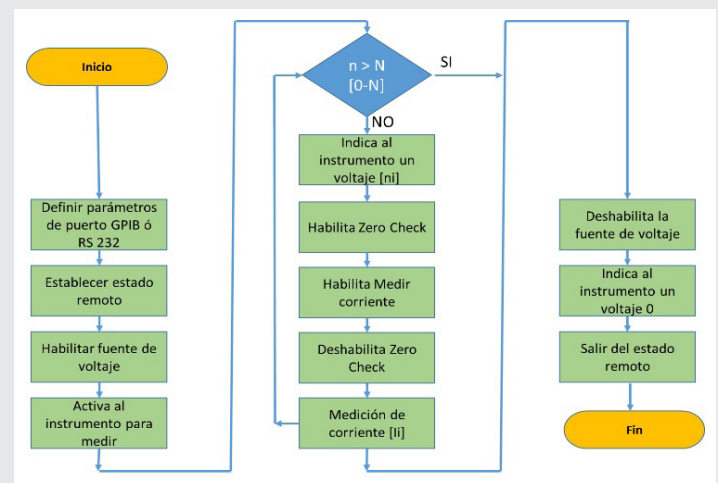


Figura 6. Diagrama de flujo para el control del electrómetro.

El diagrama está formado por una estructura de secuencia, antes de la estructura se define la configuración del puerto (velocidad de transmisión a 9600 baudios, conexión a través del puerto usb, bit de paridad 0, bit de paro 1 y ningún control de flujo) con parámetros iguales a los definidos en la configuración manual del electrómetro. Las instrucciones que reconoce el electrómetro se describen a continuación: (:SYSTEM REMOTE) inicializa el instrumento en operación remota por medio de la PC; (:SYSTEM KEY 19) habilita la fuente de voltaje; (:INIT:CONT ON) saca al instrumento del estado inactivo; después entra en un ciclo, en donde se indica el despliegue de la medición de corriente como resultado de un voltaje de excitación sobre la pantalla frontal del electrómetro, la amplitud de la excitación de voltaje depende de la iteración del ciclo n, que tiene una variación desde 0 a N. Las etapas finales de la estructura de secuencia indican habilitación de la fuente voltaje, un voltaje de salida cero, salida del estado remoto del instrumento y finalmente un almacenamiento automático del vector de voltajes generados.

El ciclo presenta 5 pasos (línea central de Figura 6) al final de ellos se toman las muestras de corriente y voltaje. Es necesario definir tiempos de retardo para asegurar estabilidad del sistema y tiempo para toma de medición de parámetros eléctricos, la recomendación es que la suma total de los tiempos de espera sea mayor a 12 segundos. Dentro del ciclo, primero se indica al

electrómetro (:SOURce:VOLTage) que envíe a su puerto de voltaje (posicionado en la parte trasera del instrumento) el valor de entrada, este valor corresponde al ciclo ($i=0 V=0, i=1 V=0.02, i=2 V=0.04, \dots, i=N V=N*0.02$), donde N es el número de iteraciones que se le indican al programa de inicio. Lo siguiente es parte del proceso de visualización del resultados de medición de corriente, la indicación (:SYSTEM:ZCheck ON) habilita la revisión a cero en el proceso de medición, después (:SYSTEM:KEY 22) habilita la función a medir corriente. Los últimos dos casos por describir, permiten deshabilitar la verificación a cero, lo que permite visualizar la respuesta en la pantalla del instrumento y por último se vuelve habilitar la verificación a cero, para comenzar desde ese estado en la próxima interacción. Las mediciones obtenidas son almacenadas en columnas de datos de voltaje y corriente en una hoja de datos.

Propuesta metodológica para estimar parámetros fotovoltaicos

La propuesta metodológica está basado en el análisis de datos de curvas VI experimentales para estimar parámetros eléctricos y de desempeño. El análisis es realizado por un algoritmo que puede ser implementado en LabVIEW, Matlab o algún otro software que permita generar curvas VI teóricas basadas en el modelo de una celda solar y así comparar el área bajo la curva de cada una de ellas con la curva VI experimental. El mejor ajuste es seleccionado por la mínima diferencia de áreas.

El algoritmo de evaluación permite realizar un proceso de análisis de datos y despliegue de resultados. La descripción se realiza a continuación por secciones debido a lo extenso del mismo. La lógica de ejecución de las secciones involucradas se muestra en la metodología plasmada en la Figura 7.

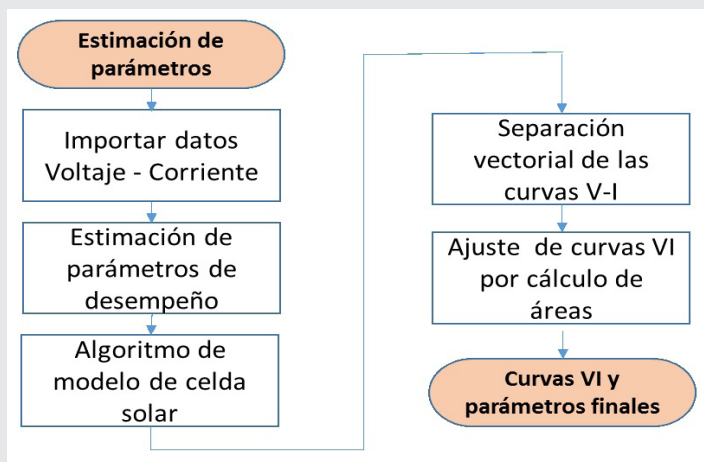


Figura 7. Metodología para la estimación de parámetros y curva VI teórica.

Sección 1.- Para realizar evaluación de los parámetros de desempeño y el ajuste de las curvas VI experimentales. Primero es necesario importar los datos experimentales.

Sección 2.- Los parámetros de desempeño son el factor de llenado (FF) definido por la Ecuación (1), el cual establece una relación de la potencia real entregada por la celda fotovoltaica y la potencia imaginaria ideal que debería entregar. Por otro lado, la eficiencia de conversión de potencia (η) definido por la Ecuación (2), establece la proporción de energía solar detectada por la celda que es aprovechada y convertida en potencia eléctrica.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\eta = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{opt}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Para la identificación de los puntos característicos se pueden observar la Figura 8, donde se presenta su ubicación sobre la curva teórica VI con iluminación. El voltaje de circuito abierto V_{oc} ubicado en la intersección de la curva con el eje de corrientes. La corriente de corto circuito I_{sc} se encuentra en la intersección de la curva con el eje de voltajes. El voltaje y corriente de máxima potencia V_{max} y I_{max} respectivamente, se encuentran ubicados en la intersección con los ejes desde el punto de máxima potencia P_{max} .

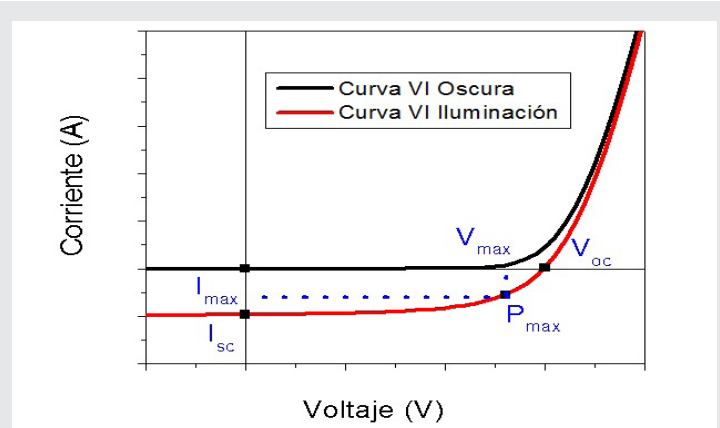


Figura 8. Curva VI oscura y curva VI con iluminación teóricas.

La identificación de los puntos característicos se realiza usando los datos experimentales de corriente y voltaje. En la Figura 9 muestra el diagrama de flujo para identificar los puntos característicos de la curva VI desde los vectores de datos almacenados.

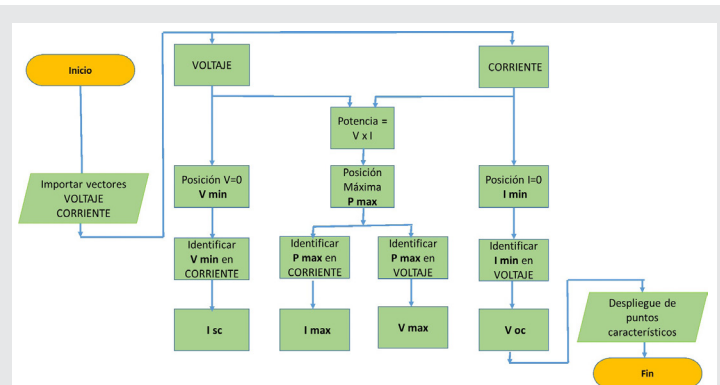


Figura 9. Diagrama de flujo para la identificación de puntos característicos.

A la izquierda del diagrama se observa el llamado de los datos experimentales para voltaje y corriente. La posición y valor del voltaje mínimo V_{min} ($V=0$), con ésta posición se identifica el valor de corriente de corto circuito I_{sc} . Con la identificación de la posición de la corriente mínima I_{min} ($I=0$), se identifica el voltaje de circuito abierto V_{oc} . Al realizar la multiplicación de corriente y voltaje que representa la potencia eléctrica, identificando el valor y posición de potencia máxima (P_{max}), con ésta posición se puede identificar el V_{max} y la I_{max} .

Sección 3.- El ajuste de la curva VI experimental se realiza de acuerdo al modelo teórico de la celda solar de Muñoz Lasso [2], que se basa en la competencia de tres corrientes incluidas en la Ecuación (3), la corriente originado por iluminación I_L , la corriente del modelo del diodo I_D con inclusión del factor de idealidad n y la caída de tensión en la resistencia en serie R_s y la corriente debido a la presencia de corrientes de fuga, definida por una resistencia paralela R_p .

$$I = -I_L + I_0 \left[e^{\frac{(V-IR_s)}{nV_T}} - 1 \right] + \frac{V - IR_s}{R_p} \quad \text{Ec. (3)}$$

La corriente de saturación I_0 y el factor de idealidad son normalmente los parámetros elegidos para realizar el ajuste, con el voltaje térmico $V_T=0.025$ V a temperatura ambiente.

Sección 4.- Los vectores de voltaje y corriente obtenidos deben ser almacenados en una matriz general. Aunque cada curva debe ser independiente para poder ser tratados numéricamente.

Sección 5.- La estimación del mejor ajuste (a la curva VI experimental) se obtiene aplicando el procedimiento implementado en el diagrama de flujo de la Figura 10, a cada una de las R curvas VI generadas.

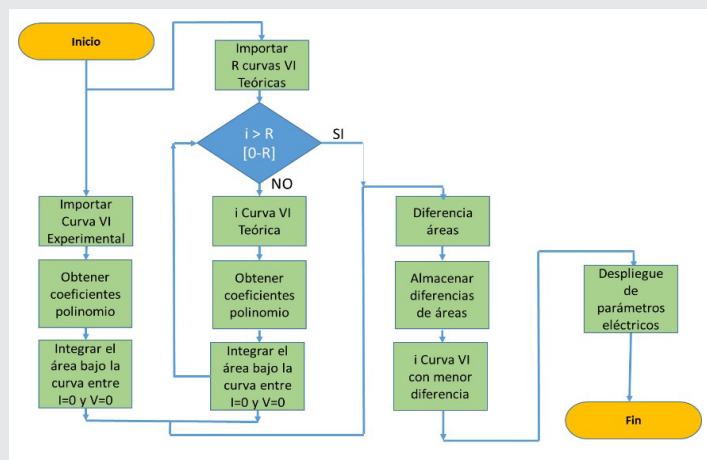


Figura 10 Diagrama de flujo para estimar el mejor ajuste por aproximaciones sucesivas

Para los vectores Corriente y Voltaje de cada curva VI generada, se obtienen los coeficientes del polinomio en

su aproximación matemática. Posteriormente se calcula el área bajo la curva VI integrando desde el punto I_{sc} hasta el punto de V_{oc} . El área de cada curva VI generada se compara con el área de la curva VI experimental. El resultado de la comparación de áreas permite determinar el mejor ajuste, a partir de la menor diferencia entre las curvas VI generadas y la experimental.

Sección 6.- La visualización de las curvas VI es el proceso donde se presentan y comparan las R curvas VI generadas por el algoritmo de evaluación, con sus respectivas contrapartes, las curvas VI experimentales con y sin iluminación.

RESULTADOS

La implementación del trazador de curvas VI mostrado en la Figura 11, es el desarrollo e implementación de un sistema funcional de caracterización de dispositivos fotovoltaicos, que incluye un control de la intensidad de iluminación (cámara), una tablilla de conexiones generales y un instrumento de medición de corriente con fuente de voltaje programada incluida (electrómetro).



Figura 11. Sistema trazador y de análisis de curvas VI.

Para determinar la funcionalidad de la etapa de caracterización experimental se obtuvo la curva VI oscura de una celda solar comercial estándar, los resultados se muestra en la Figura 12.

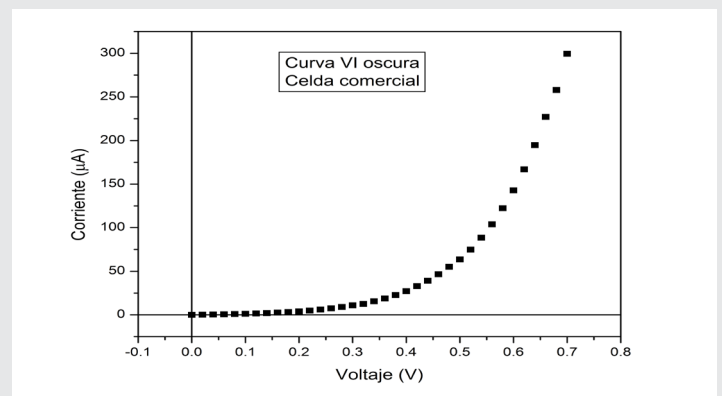


Figura 12. Curva VI experimental oscura de una celda solar comercial estándar.

Para verificar la funcionalidad de la propuesta metodológica de estimación de parámetros eléctricos y de desempeño, se utilizan resultados de un proceso de caracterización usando celda solar orgánica de multicapa ITO/P3HT:PCBM/Al (Indium Tin Oxide/poly(3-hexylthiophene):fulereno/aluminio), la película activa P3HT:PCBM con espesor de 50nm, concentración 1:1 y con un proceso de calentamiento por contacto por 4 minutos a 140°C. La celda solar multicapa es seleccionada debido a las investigaciones previas por diversos grupos como el formado por Foertig, Rauh, Dyakonov y Deibel [5], lo cual permite la comparación de los resultados obtenidos con este sistema. La Figura 13 muestra la visualización de la gráfica de la curva VI experimental con iluminación.

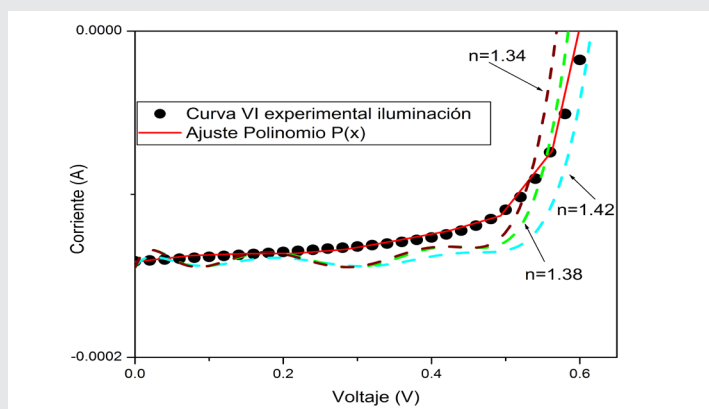


Figura 13. Curva VI experimental con iluminación de 100 mW/cm² de una celda orgánica.

La Tabla 1 muestra los resultados del proceso de ajuste de la curva VI experimental con iluminación de la celda orgánica al modelo teórico de una celda solar, utilizando la metodología de aproximación por cálculo de áreas bajo la curva entre Isc y Voc. Con un polinomio característico de la curva VI experimental $P(x) = -1.41E-4 + 5.71E-5 X + 6.9E-5 X^2 - 0.002 X^3 + 6.73E-5 X^4 + 0.042 X^5 - 0.054 X^6 - 0.217 X^7 + 0.527 X^8 - 0.296 X^9$, encontrado con un ajuste numérico.

Tabla 1.- Resultados del cálculo de diferencia de áreas usando la celda.

Integral bajo la curva del polinomio $I_{exp} = 6.6936 E-5$				
Curva teórica, Ecuación (3)	n	Áreas	Diferencia Áreas	
1	1.34	6.4595 E-5	2.34 E-6	x
2	1.38	6.6805 E-5	1.31 E-7	✓
3	1.42	7.0319 E-5	3.38 E-6	x

El mejor ajuste encontrado por el proceso corresponde a un factor de idealidad de $n=1.38$. Por lo tanto, los parámetros eléctricos son determinados a partir de la curva teórica 2.

La Tabla 2 contiene los parámetros de desempeño y eléctricos estimados utilizando el algoritmo implementado y su comparación con otros autores: P1- Nuestra

Propuesta, P2- Mihailetchi [6], P3- grupo de Shen [7] y P4-grupo de Foertig [5].

Tabla 2.- Comparación de parámetros en estructura ITO/P3HT:PCBM/Al.

	Voltaje circuito abierto (Voc)	Corriente de corto circuito (Isc)	Factor de llenado (FF)	Eficiencia de conversión (η)	Resistencia serie (Rs)	Corriente de saturación (I_0)	Factor de idealidad (n)
Propuesta metodológica 1:1	0.6 V	0.14 mA	0.65	0.78 %	50 Ω 50 nm	27 pA	1.38
(Mihailetchi, 2005)	0.61 V	0.49 mA	0.65	2.8%	>45 Ω		
(Shen et al., 2011)					106 Ω 85 nm		
(Foertig et al., 2012) 1:8						0.7 pA	1.2-1.3

CONCLUSIONES

La caracterización experimental del sistema está basado en un instrumento de excitación de voltaje con incrementos > 5mV lo que propicia curvas VI con alta resolución (mayor a 100 puntos) y medición de corriente con capacidad en el rango de aA, esta sensibilidad es ideal para determinar propiedades eléctricas del diodo usadas en el estudio teórico de las celdas solares. En el mismo sentido, la comparación entre los parámetros estimados de la estructura fotovoltaica usando el algoritmo desarrollado y los reportados por la literatura demuestran que la propuesta metodológica para evaluar parámetros a partir de curvas VI es funcional. Así, podemos comentar que el sistema implementado es una herramienta con propiedades ampliadas de acuerdo a los sistemas comerciales convencionales, los cuales normalmente están limitados a determinar solo parámetros de desempeño.

Lo implementado en el sistema hasta el momento cumple con un proceso de medición y análisis, aplicando técnicas normalmente bien conocidas por el autor, pero las nuevas tendencias en la investigación de dispositivos fotovoltaicos requiere complementar el proceso de medición hacia técnicas basadas en altas resistencias y cargas dinámicas y este sistema tiene la capacidad de extender hacia esta dirección sus alcances.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Nelson, J. (2013). *The physics of solar cells*. Ed. Imperial College Press.

[2] Muñoz Lasso, A. (2003). *Modelo circuital de células solares de película delgada*. *Tecnociencia*, 5(1), 33-50.

[3] Abdulkadir, M., Samosir, A. S., & Yatim, A. H. (2013). *Modeling and Simulation of a Solar Photovoltaic System, Its Dynamics and Transient Characteristics in LABVIEW*. *Journal, IJPEDS*, 3(2), 185-192.

[4] *Model 6517B Electrometer User's Manual*. (2008).

[5] Foertig, A., Rauh, J., Dyakonov, V., & Deibel, C. (2012). *Shockley Equation Parameters of P3HT:PCBM Solar Cells derived by Transient Techniques*, *J. Physical Review B*, 86, 1-8.

[6] Mihailetchi, V. D. (2005). *Device Physics of Organic Bulk Heterojunction Solar Cells* (tesis de doctorado). Universidad de Groningen, Países Bajos.

[7] Shen, Y., Li, K., Majumdar, N., Campbell, J. C., Gupta, M. C. (2011). Bulk and contact resistance in P3HT:PCBM heterojunction solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 2314-2317.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Detección de la enfermedad “Mancha de hierro” en hojas del cafeto utilizando Redes Neuronales Convolucionales



Colaboración

Balzhojt Roldán Ortega; Cecilia Irene Loeza Mejía; Instituto Tecnológico Superior de Misantla; Rajesh Roshan Biswal, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Guadalajara

RESUMEN: La producción del café es una de las principales fuentes de ingresos principalmente en países en vías de desarrollo, pero esta producción puede ser mermada por la presencia de enfermedades en las fincas cafetaleras, trayendo consigo, pérdidas considerables en la economía local. Se sabe que la mancha de hierro es una de tantas enfermedades, y que para hacer un diagnóstico se requiere de personal experto. En este artículo se hace una propuesta de usar Redes Neuronales Convolucionales, para poder generar un modelo clasificador y poder detectar la enfermedad, con tan solo imágenes de las hojas de café. Los resultados que se obtuvieron de 96.80% y 90.65% en la precisión de entrenamiento y validación del modelo propuesto, nos indican que es posible generar dicho modelo y concluir que es viable desarrollar una herramienta que ayude a los cafeticultores a actuar en tiempo y forma cuando se presenten indicios de la enfermedad Mancha de Hierro.

PALABRAS CLAVE: Enfermedades del café, Mancha de Hierro, Redes Neuronales Convolucionales.

ABSTRACT: Coffee production is one of the main sources of income mainly in developing countries, but this production can be reduced by the presence of diseases that could occur on coffee farms bringing with them, losses considerable in the local economy. Iron stain is known to be one of many causing diseases, and that making a diagnosis requires expert staff. This article makes a proposal to use Convolutional Neural Networks, to be able to generate a classifying model and be able to detect the disease, with only images of the coffee leaves. The results obtained from 96.80% and 90.65% in the training accuracy and validation of the proposed model, indicate that it is possible to generate such a model and conclude that it is feasible to develop a tool that helps coffee growers to act in time and form when evidence of Iron Stain disease is present.

KEYWORDS: Coffee Diseases, Iron Stain, Coffee, Convolutional Neural Networks.

INTRODUCCIÓN

En el mundo en desarrollo, más del 80% de la producción agrícola es generada por pequeños agricultores [1], y las pérdidas de rendimiento de más del 50% debido a plagas y enfermedades son más comunes cada día [2]. Además, se cree que el 50% de personas con problemas de pobreza y hambruna, vive en estas zonas productivas [3], lo que hace que los pequeños agricultores sean un grupo particularmente vulnerable a situaciones precarias económicamente.

El café es un producto importante en la economía mundial, más importante en los países en vías de desarrollo ya que es una de las principales fuentes de divisas. Marcos Gottfried, director general de Expo Café 2017, dijo que en el periodo 2016-2017, México se colocó como el onceavo productor de café a nivel mundial, con 1.6% de la producción global y en el doceavo lugar a nivel internacional como exportador [4].

En México, la cafeticultura es importante por el número de productores que se dedican a ella, en año 2017 se registró la participación de 500 mil cafeticultores en todo el país, y es aquí donde radica desde el punto de vista social, la importancia del café, además de que considerando las familias de estos grupos y las del personal ligado a la transformación y comercialización del grano, alrededor de 3 millones de mexicanos dependen del café en algún grado. Este cultivo se encuentra actualmente en 484 municipios del país; 74 de ellos generan 70% de la producción nacional [4].

Para aumentar la producción, es necesario que el productor tenga buenas prácticas fitosanitarias, ya que las enfermedades pueden traer pérdidas considerables a la productividad. Una de las enfermedades es “Mancha de hierro”, causada por el hongo *Cercospora coffeicola*, que ataca las hojas y los frutos del café en cualquier fase de crecimiento ocasionando pequeñas manchas redondas de color pardo claro o rojizo que terminan por defoliar la planta y afectar el crecimiento del fruto [5]. Esta plaga puede disminuir la productividad de 40-50% de la producción y causar la contracción del 30-40% del peso de los granos de café [6].

Existen metodologías tradicionales para hacer la evaluación de la enfermedad, que se basan principalmente en la observación del experto, es por eso que en este documento se pretende que con la ayuda de las Redes Neuronales Convolucionales en el reconocimiento de patrones se pueda entrenar un modelo clasificador y posteriormente determinar si existe presencia de la enfermedad cuando se le suministre una nueva muestra.

En la literatura ya hay trabajos relacionados, como por ejemplo el de Mohanty et al. [7] donde realizaron 60 experimentos usando redes neuronales convolucionales profunda para identificar 14 especies de cultivos y 26 enfermedades, utilizando modelos entrenados como AlexNet [8] y GoogleNet [9] con el conjunto de datos de PlantVillage de 54,306 imágenes que contienen 38 clases de 14 especies de cultivos y 26 enfermedades (o su ausencia), logrando una precisión máxima del 99.35%. Otro trabajo que también utilizó Arquitectura ya entrenadas fue el de Khan et al. [10] para clasificar enfermedades del tomate, donde obtuvieron 32.23% usando la arquitectura AlexNetOWTbN y 33.27% para VGG16 [11]. También Ashqar & Abu [12] quienes realizaron un estudio que consistió en analizar 9000 imágenes de hojas de tomate, para producir un modelo con el propósito de identificar 5 tipos de enfermedades, donde obtuvieron resultados del 99.84% en precisión. Por otra parte, Arnal Barbedo [13], trabajó con redes neuronales convolucionales aplicándolas en el análisis de varios cultivos, buscando niveles de enfermedad en las plantas, pudiendo clasificar a cultivos sanos con un 89% de precisión, ligeramente enfermos con un 31%, moderadamente enfermos 87% y gravemente enfermos con un 94%.

Como se puede notar, existe un interés de varios autores por encontrar nuevas formas para detectar enfermedades en las hojas, haciendo que se justifique el uso de las redes neuronal convolucionales por su eficiencia en la detección de la enfermedad. Para este caso de estudio, se concentra en la mancha de hierro que afecta a las hojas del café.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este trabajo de estudio, se siguió la metodología que se muestra en la figura 1. Donde primero se realizó la adquisición de las imágenes del conjunto de datos, luego se le hizo un preprocesamiento a las imágenes para que la ejecución del algoritmo fuera más eficiente y luego se probó la efectividad del modelo clasificador. A continuación, se describirán las etapas de la metodología.

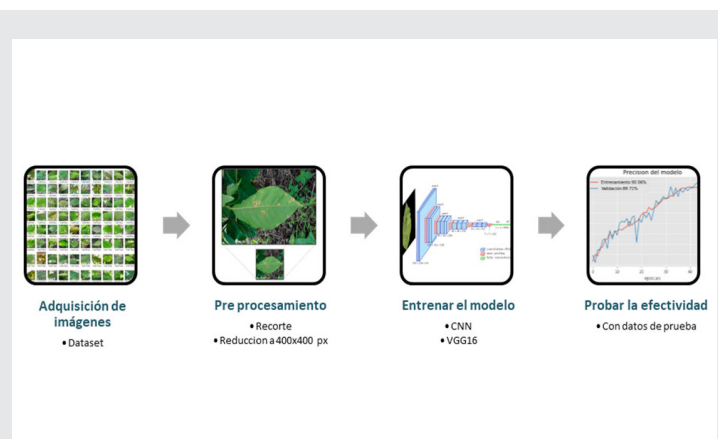


Figura 1: Metodología

Adquisición de imágenes

Para este experimento se utilizó el dataset de imágenes "RoCoLe: A robusta coffee leaf images dataset" (ParragaAlava, Cusme, Loor, & Santander, 2019). Dicho conjunto de datos está conformado por 770 imágenes de hojas que presentan signos de la enfermedad mancha de hierro y 792 que no presentan la enfermedad.

Preprocesamiento

Se aplicó un recorte de imagen a todo el lote, con el objetivo de centrar el área a analizar y disminuir el ruido en el entrenamiento, además se redujo el número de píxeles que estaban en el rango de (2048 x 1152 - 4128 x 2322) a unas imágenes con resolución más manejable de 400 x 400 píxeles.

Comúnmente en esta etapa, también se hace extracción de características, pero al trabajar con redes neuronales convolucionales, se hace prescindible éste paso, ya que la propia red aprende a extraerlas a través de sus capas convolucionales, creándose en ella los filtros requeridos para cada una de las características que definen a la clase, en este caso, los patrones de la enfermedad.

Entrenar el Modelo

Para la obtención del modelo clasificador, se realizaron pruebas para buscar el modelo óptimo y que se ajustara a los objetivos planteados. En primer lugar, se usó la técnica de transferencia de aprendizaje, que consiste en tomar una red pre entrenada, en este caso la VGG16, desmontar su estructura en capas separadas y luego volver a ensamblar con nuestras propias capas, pero siempre conservando los pesos pre entrenados de la red. En este caso se eliminó su última capa y posteriormente se ensamblo la capa con la configuración propuesta para sólo dos posibles resultados como se muestra en la Figura 2. En segundo lugar, se diseñó una arquitectura propia llamada cafezh con estructura como se observa en la Figura 3, donde se realizaron varias pruebas de optimizadores para ver cuál daba mejor resultado.

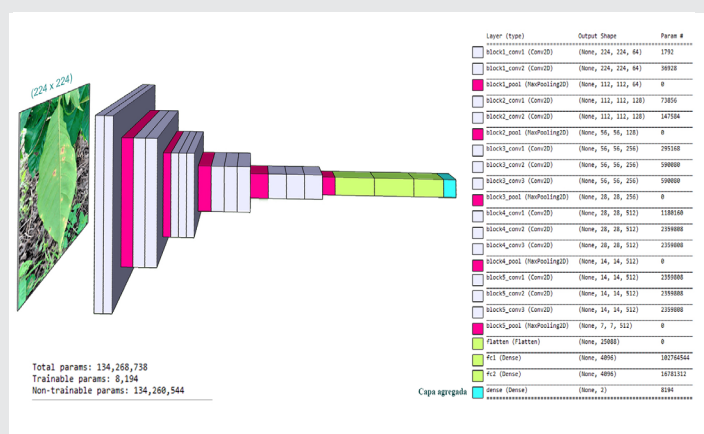


Figura 2: Arquitectura VGG16 usada para la transferencia de aprendizaje.

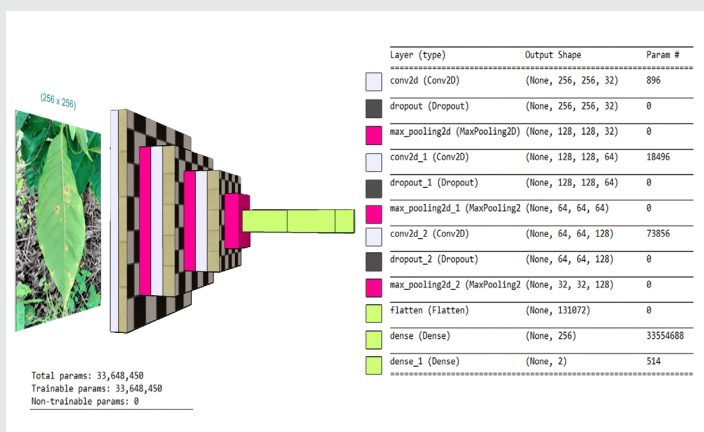


Figura 3: Arquitectura Propuesta Cafezh

Los optimizadores que se pusieron a prueba fueron: SGD, Adam, Adamax y Adadelta, todos ellos con sus valores predeterminados, tal como están configurados en Tensorflow. Los valores iniciales fueron:

- Entrada = lote de imágenes de 224x224 píxeles para la VGG16 y 256x256 para la arquitectura propuesta.

- Número de imágenes que se consideran para el entrenamiento = 1275.
- Número de imágenes que se utilizan en la validación = 311.
- Número de veces que se ejecutará la red sobre el conjunto de entrenamiento antes de empezar con la validación = 5 épocas.
- Aplicación de la técnica aumento de datos in situ para el entrenamiento.
- El equipo en el que se realizaron las pruebas tiene las siguientes características:
- Sistema Operativo Windows 10
- Procesador Intel i7 6ª generación.
- Memoria RAM 16384 MB
- Tarjeta Gráfica NVIDIA GeForce GTX 1070, 8192 MB, GDDR5.
- Python 3.7.4, Tensorflow-gpu 1.14, Keras-gpu 2.2.4.

RESULTADOS

Probamos la efectividad de las arquitecturas utilizando redes neuronales convolucionales y se observó que se obtuvieron mejores resultados con la arquitectura propuesta cafezh, ya que la técnica de transferencia de aprendizaje no dio buenos resultados, esto se pudo deber a que el optimizador y los parámetros de entrada no fueron los adecuados, como se puede observar, en la gráfica correspondiente a la arquitectura VGG16, pronto cae en un mínimo local. Por otro lado, la arquitectura propuesta, utilizando diferentes optimizadores, se logró mejorar la precisión. A continuación, se explican las arquitecturas utilizadas.

Arquitectura: VGG16

En la figura 4 se observa que con el uso de transferencia de aprendizaje utilizando la arquitectura VGG16, no es posible obtener resultados satisfactorios, ya que a partir de la primera época, se estanca el entrenamiento, y deja de aprender, eso puede deberse a que la arquitectura no es adecuada para el conjunto de datos que se ha proporcionado, ya que la documentación explica que se ha entrenado para 1000 cosas, pero no precisamente hojas de café, y aunque en su última capa se

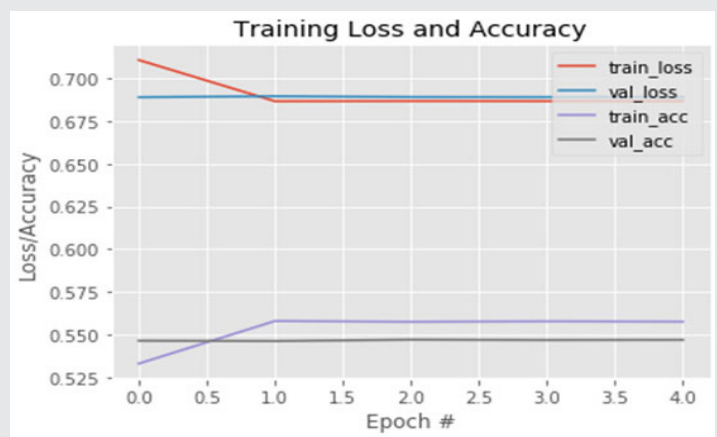


Figura 4. Resultados Arquitectura: VGG16

agregaron los nuevos datos, da la posibilidad que no fueron suficientes, aun así, se realizó el experimento, sólo para ver el comportamiento del modelo. Los resultados de 55.76% de precisión en el entrenamiento y 54.69% en la validación lo demuestran.

Arquitectura: cafezh1

En la figura 5, se muestran los resultados obtenidos utilizando el optimizador SGD. Se obtuvo 89.43% en precisión para el entrenamiento y 83.63% de precisión para la evaluación. Se observa que la precisión sube con las épocas, pero en la pérdida de validación se estanca y queda lejos de la de pérdida de entrenamiento, esto hace pensar que se puede mejorar el modelo.

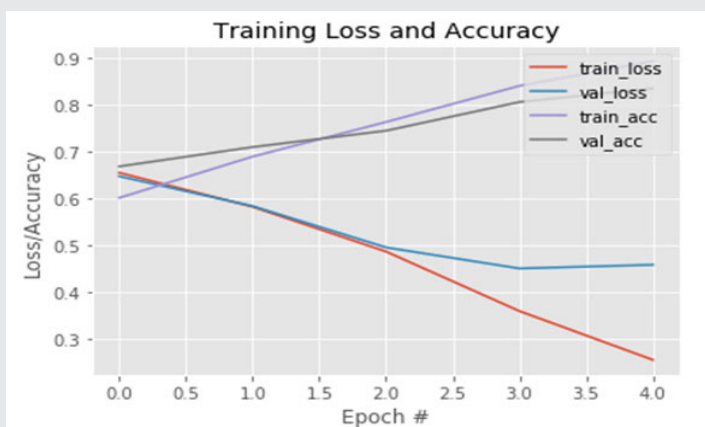


Figura 5. Resultados Arquitectura: cafezh1

Arquitectura: cafezh2

En la figura 6 se muestran los resultados del siguiente experimento, donde se pudo obtener 96.73% en precisión para el entrenamiento y 89.03% de precisión para la validación, utilizando el optimizador Adamax. Se observa que la precisión sube con las épocas dando indicios de que se está mejorando. Aunque la pérdida en la validación tiende a subir, pero después de la época 3 empieza su bajada con tendencia a seguir bajando, prueba de que se puede llegar a buenos resultados si prosigue el entrenamiento.

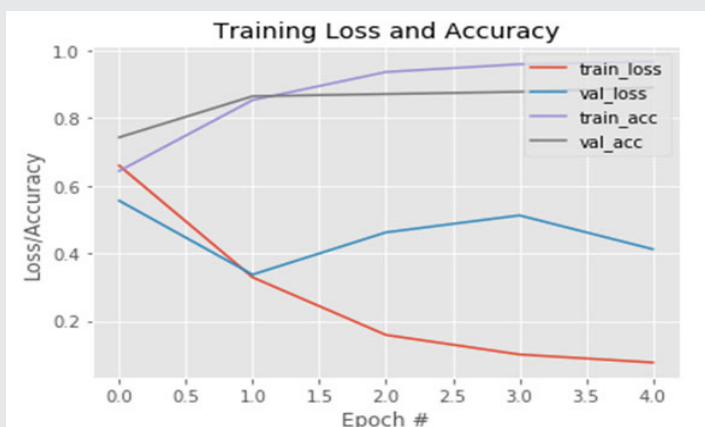


Figura 6. Resultados Arquitectura: cafezh2

Arquitectura: cafezh3

En la figura 7, se muestran los resultados obtenidos utilizando el optimizador Adadelta. Se alcanzó 96.80% en precisión para el entrenamiento y 90.65% de precisión para la evaluación. Aunque la pérdida en la validación tiende a subir, pero después de la época 3 empieza su bajada con tendencia a seguir bajando, esto da un indicio de que si se continua con el entrenamiento, se puede llegar a resultados satisfactorios.



Figura 7. Resultados Arquitectura: cafezh3

CONCLUSIONES

Como cualquier enfermedad, la prontitud con que se diagnostique hará la diferencia en la efectividad del tratamiento, y por ello, se concluye que el uso de Las redes Neuronales Convolucionales, pueden ser de gran ayuda para crear un modelo clasificador de la enfermedad "Mancha de Hierro" ya que los resultados fueron superiores al 90% de precisión. El modelo cafezh puede utilizarse para crear una herramienta que determine si existe presencia de la enfermedad cuando se le suministre una nueva muestra, todo ello sin la rigurosa supervisión de un experto, ayudando así al productor cafetalero a actuar en tiempo y forma ante la presencia de la enfermedad, además, disminuyendo la subjetividad del diagnóstico.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Tai, A. P. K., Martin, M. V., & Heald, C. L. (2014). Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nature Climate Change*, 4(9), 817–821. <https://doi.org/10.1038/nclimate2317>.

[2] Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., ... MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0089>.

[3] Sanchez, P. A., & Swaminathan, M. S. (2005). Cutting world hunger in half. *Science*, 307(5708), 357–359. <https://doi.org/10.1126/science.1109057>.

[4] CEDRSSA (2018). Reporte el café en México diagnóstico y perspectiva. Obtenido de [http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El café en México: diagnóstico y perspectiva.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El%20café%20en%20México%20diagnóstico%20y%20perspectiva.pdf).

[5] Guzmán Piedrahíta, O. A., & Rivillas Osorio, C. A. (2007). Relación de *Glomus manihotis* y *G. fasciculatum* con el crecimiento de plantas de café y la severidad de la mancha de hierro. *Cenicafe*, 58(3), 236–257.

[6] Guzmán, Ó. A., Gómez, E. O., Rivillas Osorio, C. A., Carlos, ;, Oliveros Tascón, E., & Electrónico, I. (2003). Utilización Del Procesamiento De Imágenes Para Determinar La Severidad De La Mancha De Hierro , En Hojas De Café. 258 *Cenicafé*, 54(3), 258–265. Retrieved from <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/244/1/arc054%2803%29258-265.pdf>.

[7] Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7(September), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>.

[8] Jansen, K., & Zhang, H. (2007). Scheduling malleable tasks. *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*, 45-1-45-16. <https://doi.org/10.1201/9781420010749>.

[9] Zeng, G., He, Y., Yu, Z., Yang, X., Yang, R., & Zhang, L. (2016). Preparation of novel high copper ions removal membranes by embedding organosilane-functionalized multi-walled carbon nanotube. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(8), 2322–2330. <https://doi.org/10.1002/jctb.4820>.

[10] Khan, S., n, meera, Shaikh, A. A., Ansari, H., & Ansari, N. (2019). Disorder Detection in Tomato Plant Using Deep Learning. *SSRN Electronic Journal*, 2154–2160. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3358226>.

[11] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. 1–14. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1409.1556>.

[12] Ashqar, B. A. M., & Abu-naser, S. S. (2018). Image-Based Tomato Leaves Diseases Detection Using Deep Learning. 2(12), 10–16.

[13] Arnal Barbedo, J. G. (2019). Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. *Biosystems Engineering*, 180(2016), 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002>.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Selección de beneficiarios de apoyo en sector gubernamental basada en técnicas bayesianas. Caso de estudio: Comisión Nacional Forestal

RESUMEN: La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), como un organismo público descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tiene como objetivo desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes, programas y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable bajo las Reglas de Operación del Programa de Apoyo para el Desarrollo Forestal Sustentable. Este artículo propone usar una metodología para modelar la selección de candidatos para recibir apoyo que ofrece la CONAFOR mediante un método bayesiano. El reconocimiento de diferencias en la conectividad de variables puede ser usada para clasificar patrones (a) normales. Este método bayesiano se usa para clasificar, analizar y evaluar gráficamente la existencia de (in)dependencia en la distribución espacial, obteniendo y comprobando una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para facilitar la selección de los mejores candidatos para recibir el apoyo otorgado por la CONAFOR. Como resultado se obtiene la identificación de los criterios que se relacionan para ser catalogado como factible en el proceso de dictaminación, con una probabilidad de 72.3%. Perteneciendo a un municipio con nula y alta marginación y teniendo un proyecto técnicamente factible.

PALABRAS CLAVE: Árbol de decisión, Bayes, CONAFOR, Metodología, Modelo de selección, Toma de decisión.



Colaboración

Luis Armando Rodríguez Aguilar; Gabriel Grosskelwing Núñez; Roberto Ángel Meléndez Armenta; Jorge Cruz Salazar, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

ABSTRACT: The Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), as a decentralized public body of the Secretaría of Medio Ambiente and Recursos Naturales (SEMARNAT) aims to develop, promote and promote productive activities, conservation and restoration in forestry, as well as participate in the formulation of plans, programs and in the application of sustainable forest development policy under the Operating Rules of the Support Program for Sustainable Forest Development. This article proposes to use a methodology to model the selection of candidates to receive support offered by CONAFOR through a Bayesian method. The recognition of differences in the connectivity of variables can be used to classify normal (a) patterns. This Bayesian method is used to classify, analyze and graphically evaluate the existence of (in) dependence on spatial distribution, obtaining and verifying a decision support tool to facilitate the selection of the best candidates to receive the support granted by CONAFOR. As a result, the identification of the criteria that are related to be cataloged as feasible in the ruling process is obtained, with a probability of 72.3%. Belonging to a municipality with zero and high marginalization and having a technically feasible project.

KEYWORDS: Decision tree, Bayes, CONAFOR, Selection model, Decision making.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el planeta se encuentra inmerso en una gran cantidad de problemas ambientales, ante este contratiempo, México se encuentra en un proceso de construcción de estrategias y planes de manejo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [1] se encarga de impulsar la protección, conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y biodiversidad. Con ayuda de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) [2] apoya a los dueños y poseedores de bosques, selvas, manglares, humedales y zonas áridas bajo las Reglas de Operación del

Programa de Apoyo para el Desarrollo Forestal Sustentable [3].

Sin embargo, detectar posibles beneficiarios de cientos de solicitantes es una tarea difícil, es en estas reglas de operación en donde CONAFOR ha detectado que un subproceso (la dictaminación), el análisis y selección de los candidatos lo realiza un número pequeño del personal con el que cuenta y los resultados se requieren en un periodo de tiempo muy corto.

Para una maximización de beneficios y que el Programa de Apoyo sea exitoso, es crucial identificar correctamente a los posibles beneficiarios, en este sentido, se propone un método bayesiano (red bayesiana), el cual fundamenta su funcionamiento en la teoría de probabilidad para estimar la posibilidad de que a un solicitante sea beneficiario por la comisión. Estos puntajes son necesarios para calcular la medida útil en un entorno de predicción para comprender por qué los solicitantes son o no catalogados como factibles y elaborar las estrategias correspondientes para ampliar los beneficios. Las reglas divididas de la red bayesiana se optimizan de acuerdo con la métrica de elección para el uso de un método de optimización de partición recursiva de búsqueda y es utilizado para dar respuesta a planteamientos que impliquen decisión multicriterio.

Este artículo ha sido organizado como sigue: un primer apartado en el cual se presenta un desarrollo teórico sobre los problemas de decisión y Teorema de Bayes. Seguido, se presentan los materiales y la metodología propuesta para resolver el problema de toma de decisión y finalmente unas conclusiones.

Hipótesis. Es posible modelar la selección de candidatos para recibir apoyo que ofrece la CONAFOR mediante un método bayesiano.

El presente artículo tiene como objetivo proponer un modelo para la selección de candidatos que reciban apoyo con los programas que ofrece la CONAFOR basado en un método bayesiano, el cual permite elegir entre varias alternativas, la que mejor responde a los múltiples criterios definidos para ello.

Teoría de la decisión.

González F.A. aclara que la teoría de la decisión se ocupa de analizar cómo elige una persona aquella acción que, de entre un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado dadas sus preferencias [4].

La decisión puede ser paramétrica: si el contexto se considera dado, es decir, un parámetro o estrategia: si las decisiones de los actores son interdependientes. De forma que nuestra decisión dependa de lo que hagan los demás [5]. A este cuadro habría que añadirle la cantidad de información con que cuenta el individuo para decidirse por una opción u otra de su conjunto factible.

Si la información sobre los resultados de las distintas opciones es completa conocemos con toda seguridad las consecuencias de nuestras decisiones el decisor se hallará ante una situación de certidumbre; si, por el contrario, la información es incompleta desconocemos qué consecuencias tendrán nuestras acciones, la situación será de riesgo o bien de incertidumbre [6], el siguiente árbol recoge de manera resumida el panorama de la teoría de la decisión.

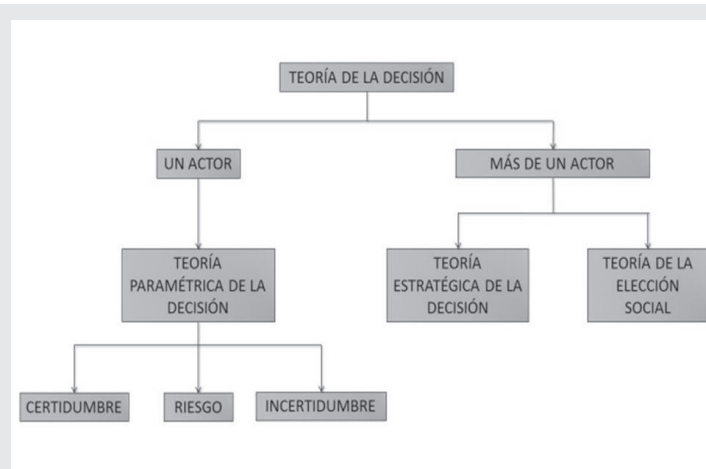


Figura 1. Teoría de la decisión. Tomado de [6].

Teorema de Bayes.

R. Aznar indica que Thomas Bayes estudió el problema de la determinación de la probabilidad de las causas a través de los efectos observados la influencia de las primeras investigaciones en que trataron el razonamiento condicional [7].

T. Bayes plantea de manera explícita que “Dado el número de veces que un suceso ha ocurrido y el de veces que no ha ocurrido, se requiere calcular la probabilidad de su ocurrencia en un solo experimento esté entre cualesquiera de los valores prefijados” (regla de Bayes) [8]. La regla de Bayes es una de las normas más importantes de la teoría de la probabilidad, ya que es el fundamento de la inferencia bayesiana. La idea principal de la metodología bayesiana proviene de la regla de Bayes y en los conceptos bayesianos los parámetros se consideran variables aleatorias [9].

El interés por el teorema de Bayes trasciende a la aplicación clásica, especialmente cuando se amplía a otro contexto en el que la probabilidad no se entiende exclusivamente como la frecuencia relativa de un suceso a largo plazo, sino como el grado de convicción personal acerca de que el suceso ocurra o pueda ocurrir.

Probabilidad a priori: Es la probabilidad incondicional asociada con la medición del grado de conocimiento inicial que se tiene de los parámetros en estudio. Si bien su influencia disminuye a medida que más información muestral es disponible, el uso de una u otra distribución a priori determinará ciertas diferencias en la distribu-

ción a posteriori [10]. Una vez que el decisor obtiene alguna evidencia referente a las variables aleatorias desconocidas que constituyen el dominio, las probabilidades priori ya no son aplicables.

Probabilidad a posteriori: Es la probabilidad condicional, utilizada en el criterio de valor esperado y suele estimarse a partir de datos históricos, puede mejorarse con experimentación adicional [11].

Árbol de decisión: Los árboles de decisión representan decisiones anidadas que sirven para clasificar los datos. Cuando se utiliza un árbol de decisión sobre los datos, se obtienen reglas que permiten clasificarlos. Un árbol se representa por un conjunto de nodos, hojas y ramas. El nodo principal o raíz es el atributo a partir del cual se inicia el proceso de clasificación; los nodos internos corresponden a cada una de las preguntas acerca del atributo en particular del problema. Cada posible respuesta a los cuestionamientos se representa mediante un nodo hijo. Las ramas que salen de cada uno de estos nodos se encuentran etiquetadas con los posibles valores del atributo. Los nodos finales o nodos hoja corresponden a una decisión, la cual coincide con una de las variables clase del problema a resolver [12].

Red Bayesiana: La red bayesiana [13] [14], es una clase de modelo gráfico que permite una representación concisa a través de una distribución de probabilidad condicional entre un conjunto de atributos en un grafo dirigido acíclico. La dependencia entre dos atributos es descrita por la presencia de un arco entre ellos, y su influencia causal, por la dirección del arco. La independencia entre atributos se representa por la ausencia de un arco que conecte atributos particulares.

MATERIAL Y MÉTODOS

“Package party”

Una paquetería llamada “A Laboratory for Recursive Partytining”: Creada por Torsten Hothorn (versión 1.3-3), describe que es una caja de herramientas computacional para particiones recursivas. El núcleo del paquete es `cforest()`, una implementación de árboles de inferencia condicional que integran modelos de regresión estructurados en árbol en una teoría bien definida de procedimientos de inferencia condicional. Esta clase no paramétrica de árboles de regresión es aplicable a todo tipo de problemas de regresión, incluidas las variables de respuesta nominales, ordinales, numéricas, censuradas y multivariadas y escalas de medición arbitrarias de las covariables. Basado en árboles de inferencia condicional, `cforest()` proporciona una implementación de los bosques aleatorios de Breiman [15]. La función `mob()` implementa un algoritmo para particiones recursivas basado en modelos paramétricos, empleando pruebas de inestabilidad de parámetros para la selección dividida. La funcionalidad extensible para visualizar modelos de regresión estructurados en árbol está disponible [16].

Metodología para la base de datos.

Etapas 1 Recopilación.

Se cuenta con una base de datos relacional proporcionada por la CONAFOR (dictaminación del año 2018), donde se encuentran 697 solicitantes que fueron evaluados bajo los criterios de prelación establecidos en las Reglas de Operación del 2018 (atributos) [17] en un formato de una hoja de cálculo, cada caso contiene registro de los datos particulares de cada solicitante y es evaluado bajo 60 y 58 atributos numéricos y categóricos respectivamente.

Etapas 2 Limpieza y transformación.

Para efecto de confidencialidad de los datos se modificaron los nombres de los solicitantes y los folios de control, así como conversión de algunos atributos categóricos a numéricos, obteniendo un resumen de las características de los atributos.

Etapas 3 Construcción

Se evalúa la base de datos extrayéndola al programa RStudio (R versión 3.6, 2019-07-05, Copyright (C) 2019 The R Foundation for Statistical Computing Platform: x86_64-w64-mingw32/x64, 64-bit) para ser corrida en la paquetería “Party” para comprobar que el modelo aplicado es funcional.

Etapas 4 Evaluación.

Una vez obtenida la red bayesiana se evalúa al modelo mediante una validación simple la técnica “bootstraping” [11][18]: 1) Se divide el conjunto de datos (694 solicitantes) de manera aleatoria obteniendo dos disjuntos (conjunto de entrenamiento: 482 solicitantes y conjunto de test:212 solicitantes) en estos dos conjuntos contruidos pueden contener datos repetidos. 2) Se aplica el algoritmo al conjunto de entrenamiento, 3) Se utiliza la matriz de confusión [19] [20] para mostrar el recuento de casos de las clases predichas y sus valores actuales para conocer mejor el tipo de error de nuestro modelo (Conocer la precisión del modelo).

Etapas 5 Interpretación.

Análisis e interpretación del grafo resultante para la descripción de su comportamiento (ver Figura 2)

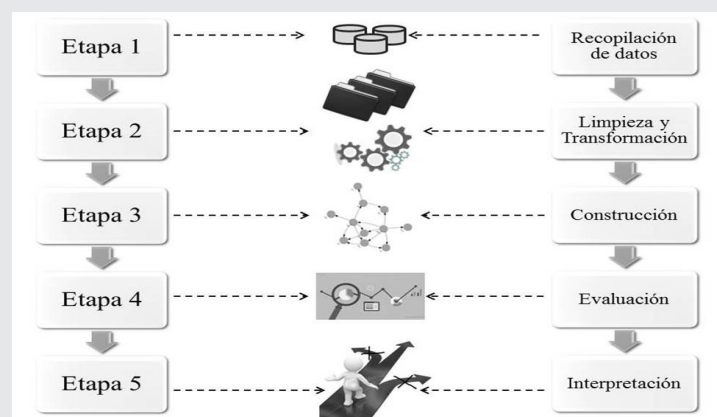


Figura 2. Metodología.

RESULTADOS

Como se aprecia en la Figura 3, se obtiene una red bayesiana con el siguiente contenido:

- Los nodos que definen el perfil de los solicitantes factibles son: Nodo 1-Nodo 5-Nodo 6, es decir, existe una mayor probabilidad de ser catalogado como factible si el solicitante cuenta con un proyecto Técnicamente Si Factible y perteneciendo a un Municipio con nula y alta marginación.
- Nodo 1: Es el factor (Y)= que describe a la variable dependiente que posteriormente ramifica en dos nodos: al Nodo2 (donde 3=Muy alta) y nodo 5 (donde 1=No y 2=Alta), tomando el criterio perteneciente a un municipio con un grado de marginación, indicando que ésta es la variable principal predictora
- Nodo 5: Lo precede el Nodo 1. Corresponde a la variable dependiente nombrada como Técnicamente no factible, ramificando en dos nodos: al Nodo 6 donde (" ≤ 0 "=No) y al Nodo 7 (donde y " > 0 "=Si)
- Nodo 6: Indica que de 505 solicitantes que caen en esta rama, existe una probabilidad de 27.7% y 72.3% de ser catalogado como No Factible y Si Factible respectivamente.

Se obtiene también la matriz de confusión (Tabla 1) que indica lo siguiente:

- NV es la cantidad de NO que fueron clasificados correctamente como NO.
- NF es la cantidad de NO que fueron clasificados incorrectamente como SI.
- SV es la cantidad de SI que fueron clasificados correctamente como SI.
- SF es la cantidad de SI que fueron clasificados incorrectamente como NO.

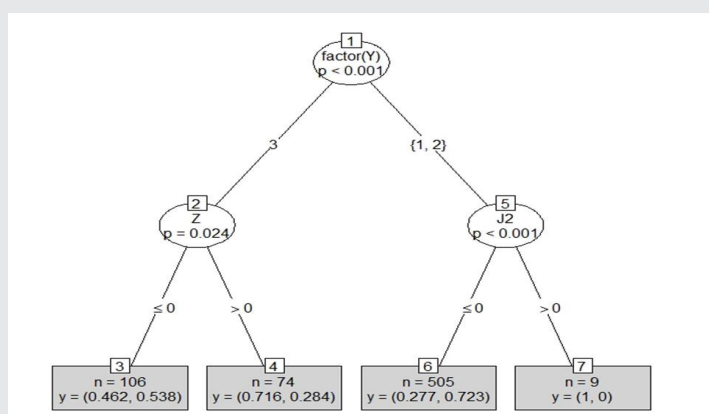


Figura 3. Red bayesiana.

Tabla 1. Matriz de confusión

Predicción/Real	Valor Real		
	Predicción/Real	NO	SI
Valor Predicho	NO	18 (NV)	8(NF)
	SI	66(SF)	120(SV)

Demostrando que cuenta con (ver Tabla 2):

- Sensibilidad: también se le llama recall o tasa de verdaderos positivos. Nos da la probabilidad de que, dada una observación realmente positiva.

- Especificidad: también llamado ratio de verdaderos negativos. Nos da la probabilidad de que, dada una observación realmente negativa.
- Precisión: también llamado valor de predicción positiva. Nos da la probabilidad de que, dada una predicción positiva, la realidad sea positiva también.
- Valor de predicción Negativa: Nos da la probabilidad de que, dada una predicción negativa, la realidad sea también negativa.
- Error de clasificación: Porcentaje de errores del modelo.
- Exactitud: Porcentaje total de los aciertos de nuestro modelo.

Prevalencia: La probabilidad de un positivo en el total de la muestra.

Tabla 2. Porcentaje de métricas

Métricas	Porcentaje
Sensibilidad	93.75%
Especificidad	21.43%
Precisión	64.52%
Valor de predicción negativa	69.23%
Error de clasificación	34.91%
Exactitud	65.09%
Prevalencia	60.38%

CONCLUSIONES

En este artículo presentamos un método bayesiano que describe de manera gráfica el proceso de dictaminación que lleva a cabo la CONAFOR, en él se demuestra la relación entre algunas de las variables (Y y J2), arrojando una mayor probabilidad de ser catalogado como factible perteneciendo a un Municipio con nula y alta marginación, teniendo un proyecto Técnicamente factible.

La precisión del modelo no garantiza que refleje la situación del problema actual, no obstante se debe contrastar el conocimiento que éste proporciona con el conocimiento previo que el experto decisor pudiera tener sobre el caso en particular y resolver los posibles conflictos.

Para trabajos futuros se recomienda usar la técnica validación cruzada para evaluar los resultados del análisis estadístico y garantizar (in)dependencia de la partición entre datos de entrenamiento y prueba.

El concepto de KDD se ha desarrollado, y continúa desarrollándose, desde la intersección de la investigación de áreas tales como bases de datos, aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, estadística, teoría de la información, inteligencia artificial, razonamiento con incertidumbre, visualización de datos y Soft Computing, por estos motivos se recomienda para trabajos futuros incluir la minería de datos..

AGRADECIMIENTOS

La posibilidad de realizar el trabajo de investigación, ha sido gracias al apoyo económico y moral de muchas instituciones y personas, por ello mi agradecimiento: Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada 719468 para realizar mis estudios de postgrado.

Agradezco a todos los investigadores, técnicos y personal administrativo y de apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM) y al Tecnológico Nacional de México (TecNM); asimismo a todos mis compañeros de generación, por su compañía y apoyo.

De igual manera, agradezco el apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) del estado de Veracruz, en especial a la oficina de Reforestación por su valiosa colaboración y aportación de información clave para este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

[1] SEMARNAT, (2017). *Misión y Visión de la SEMARNAT, Obtenida el 12 de Noviembre del 2018, de la página electrónica: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/mision-y-vision-de-la-semarnat>.*

[2] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2017). *Ley orgánica de la administración pública federal. México*

[3] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2019). *Quinta-Sexta Sección, Comisión Nacional Forestal. México.*

[4] González, F. A. (2004). *Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos. Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales, (8), 139-160.*

[5] Elster, J. (Ed.). (1986). *Rational choice. NYU Press.*

[6] Rapoport, A. (1983). *Mathematical models in the social and behavioral sciences. John Wiley & Sons.*

[7] Enrique R. Aznar, (2007). *Biografías-Thomas Bayes, Obtenida el 24 de Octubre de 2018, de la página electrónica: <https://www.ugr.es/~eaznar/bayes.htm>.*

[8] Paredes-Cancino, C., & Cantoral, R. (2018). *La noción de proporcionalidad en la construcción del teorema de Bayes. El caso del pensamiento estocástico.*

[9] Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros. Pearson Educación.*

[10] Octavio Paredes Pérez (2013). *Regresión Lineal por Medio del Análisis Bayesiano. Tesis Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Facultad de Ciencias Físico Matemáticas. México.*

[11] Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno (No. 04; Q335, R8y 2004.).*

[12] Mestizo Gutiérrez, S. L. (2015). *Árboles de decisión y redes bayesianas para el análisis de genes involucrados en la enfermedad de Alzheimer.*

[13] Sahami, M. (1996). *Aprendizaje clasificadores bayesianos de dependencia limitada. En KDD (Vol. 96, No. 1, pp. 335-338).*

[14] Portugal, R., & Carrasco, M. (2007). *Ensamble de Algoritmos Bayesianos con Árboles de decisión: una alternativa de clasificación. In XVII Congreso Chileno de Control Automático ACCA, Universidad de la Frontera, Chile.*

[15] Breiman, L. (2001). *Bosques al azar. Aprendizaje automático, 45 (1), 5-32.*

[16] Torsten Hothorn, Kurt Hornik y Achim Zeileis (2006). *Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. Journal of Computational and Graphical Statistics, 15 (3), 651-674.*

[17] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2019). *Décima-Décimoprimera Sección, Comisión Nacional Forestal. México.*

[18] Hernández, O. José., Ramírez, Q. M., & Ferri, Ramírez. C. (2004). *Introducción a la minería de datos. 3er. edición. Pearson, Prentice Hall. México.*

[19] Zelada, C. (2017). *Evaluación de modelos de clasificación, Obtenida el 25 de Enero del 2019, de la página <https://rpubs.com/chzelada/275494>.*

[20] Pina, K. (2018). *Matriz de confusión, Obtenida el 25 de Enero 2019 de la página <https://koldopina.com/matriz-de-confusion/>.*



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Sistema experto para predecir la deserción escolar con Inteligencia artificial académico

RESUMEN: La deserción escolar, es considerada como el abandono de la formación profesional por parte del estudiante; sin embargo, por diversas situaciones este objetivo se ve truncado, e.g., bajo desempeño académico, falta de apoyo económico, embarazos no deseados. Es idóneo que el estudiante que esta propenso a perder su calidad como estudiante sea identificado, canalizado y atendido por el área correspondiente, sin embargo, este análisis es complejo al implicar emociones, situaciones y comportamientos humanos, por lo que el estudio presenta un sistema experto basado en Redes Neuronales Artificiales capaz de predecir si un estudiante continuará o no con su formación profesional a nivel profesional, a partir de diversas variables de su contexto. Para la construcción del sistema se conformó una Big Data con los expedientes académicos, posteriormente se aplicó un Análisis de Componentes Principales para determinar la significancia de las variables, finalmente se determinó la configuración óptima de la Red Neuronal Artificial Multicapa que mejor ajusta los valores observados con los esperados. El estudio desarrollado arroja que las variables de impacto son: con quien vivirá durante los estudios, estado civil y carrera; con una significancia sobre la variable de interés de más del 80.00%. El sistema experto presenta una eficiencia del 90.90%.

PALABRAS CLAVE: Sistema Experto, Redes Neuronales Artificiales, Patrones de Comportamiento, Deserción Escolar.



Colaboración

Aarón Montiel Rosales; Nayeli Montalvo Romero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón

ABSTRACT: School dropout is the abandonment of vocational training by the student; however, by various situations this objective is truncated, e.g., under academic performance, lack of financial support, unwanted pregnancies. It is ideal that the student who is prone to lose his or her quality as a student is identified, channeled and attended by the corresponding area, however, this analysis is complex by involving emotions, situations and human behaviors, so the study presents an expert system based on Artificial Neural Networks capable of predicting whether or not a student will continue with their professional training at the professional level, based on various variables of their context. For the construction of the system a BigData was formed with the academic records, subsequently a Main Component Analysis was applied to determine the significance of the variables, finally the optimal configuration of the Network was determined Artificial Multilayer Neural that best adjusts the observed values with the expected values. The study developed shows that the impact variables are: with whom you will live during studies, marital status and career; with a significance on the interest variable of more than 80.00%. The expert system has an efficiency of 90.90%.

KEYWORDS: Expert System, Artificial Neural Networks, Behavior Patterns, School Dropout.

INTRODUCCIÓN

La UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), concibe a la educación como un derecho humano para todos a lo largo de la vida, siendo esta la mejor inversión para alcanzar un futuro sostenible. En septiembre del 2015, cuando se aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible la comunidad internacional reconoció que la educación es fundamental para el éxito de los 17 objetivos escogidos. El programa busca erradicar la pobreza mediante el desarrollo sostenible. En el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, se plasma de manera esencial la ambición en el ámbito de la educación, siendo esta "Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos" [1].

En México, según la INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) en su Encuesta Intercensal 2015 se tiene que el 15.00% de la población concluye el nivel primaria, el 23.70% la secundaria, el 21.70% el nivel medio superior y finalmente, el 18.60% el superior; siendo este último nivel el que impulsa el desarrollo tecnológico del país. En el ciclo escolar 2016-2017 el Tecnológico Nacional de México (TecNM) matriculó a un total de 581,835 estudiantes, de los cuales 576,614 pertenecieron a nivel licenciatura, 4,158 a maestría, 692 a doctorado, 115 a especialización y 256 TSU (Técnico Superior Universitario). A nivel nacional el TecNM en el 2018 mostró una participación en la Educación Superior con una matrícula de 13.1%, una participación en licenciatura de 14.09% y en posgrado una participación de 1.41%. La principal matrícula presente en el TecNM se efectúa a nivel licenciatura, siendo representada con el 99.10% distribuida en 43 programas de estudio. Según datos de la Dirección de Planeación y Evaluación del TecNM al 2017 se presentó una eficiencia terminal del 58% a nivel nacional. El logro de un futuro sostenible a través del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, bien puede ser apoyado al encausar todos los esfuerzos en formar profesionistas íntegros, tal y como lo establece la formación del TecNM.

Formar profesionistas que apoyen al desarrollo económico, social y cultural de la región, del estado y del país; es una meta en común de la sociedad, gobierno e Instituciones de Educación Superior (IES). Es por ello, el interés de los tres ejes en establecer estrategias para que la persona que decide formarse profesionalmente en una IES sea apoyada por medio de becas, infraestructura, empleos, entre otras. De manera interna las IES apoyan a los estudiantes, a través de becas, actividades extraescolares, asesorías académicas, programa de tutorías, por mencionar algunas. Siendo el programa de tutorías un eje importante en el desempeño del estudiante, para que éste culmine su formación profesional; bajo este contexto, un estudiante puede no concluir su formación debido a múltiples factores.

Las causas que influyen en el abandono escolar se pueden agrupar en los siguientes factores: personal (embarazo no deseado, falta de interés, fallecimiento de algún familiar, entre otras) [2], económico (ingreso económico familiar insuficiente, trabajar) [3], entorno familiar (falta de apoyo por los padres, desintegración familiar, entre otros) [4], académico (proceso enseñanza-aprendizaje tedioso y austero) [5]. La deserción escolar trae consigo la marginación de los desertores en lo económico, político, social y afectivo [6-8]. En [9] se presenta un enfoque que describe el comportamiento de la deserción estudiantil basado en la teoría psicológica, teoría ambiental, teoría económica, teoría organizacional y teoría interaccional. Con la intención de entender las causas de la deserción escolar, e implementar estrategias de retención se han desarrollado el Modelo de Spady en 1970, el Modelo de Fishbein y Ajzen en 1975, el Mode-

lo de Ethington en 1990, el Modelo de Tinto en 1987, el Modelo de Bean en 1985 y el Modelo de Pascarella y Terenzini en 1985 [10]. El proceso de toma de decisiones, que sigue un estudiante al evaluar la alternativa de abandonar su formación profesional, está inmerso de por lo menos uno de los factores anteriormente expuestos. El ó los factores que influyen en la decisión del estudiante están basados principalmente en emociones y sentimientos, por lo que el análisis se torna complejo.

En la literatura existen aportaciones de herramientas pertenecientes al campo de la Artificial Intelligence (AI) que sirven de apoyo para eficientizar el desempeño del proceso enseñanza-aprendizaje, e.g., en [11] se presenta un modelo híbrido de Identificación de Conceptos Erróneos (Misconception Detection and Identification, MDI), que incorpora Fuzzy String Searching y la String Interpreting Parembance para razonar los posibles conceptos erróneos de los alumnos en el aprendizaje de un segundo idioma; un Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) es presentado en [12] para mejorar el desempeño y la precisión de grupos de aprendizaje formados de manera óptima; [13], emplean la Generación Estructurada de Coalición (Coalition Structure Generation, CSG), el Aprendizaje Bayesiano y la Teoría de Roles de Belbin, para facilitar la integración de grupos de trabajo en un contexto educativo; en [14] se propone una herramienta basada en AI que compara modelos de aprendizaje, y determina el modelo que maximiza la eficiencia del aprendizaje a partir de las necesidades y preferencias individuales del educando; se desarrolló en [15] una Machine Learning to Assess Surgical Expertise (MLASE), la cual, apoya al campo de la educación quirúrgica asistida por el aprendizaje autónomo. En [16], se presenta un enfoque de como la AI, ha estructurado el panorama educativo en cuatro categorías: contenido educativo personalizado, métodos de enseñanza innovadores, evaluación mejorada de la tecnología y, comunicación entre el alumno y profesor.

El presente trabajo de investigación aborda el desarrollo de un sistema experto basado en Artificial Neural Networks (ANN's), que apoya en predecir si un estudiante tiene el riesgo de desertar de su formación académica, apoyando así, a expertos del área del comportamiento humano para implementar los controles necesarios. Así mismo, se aborda un análisis exhaustivo de las variables de impacto debido a que los modelos cambian a partir de las variables que son específicas a ciertos sectores.

MATERIAL Y MÉTODOS

En la Figura 1, se presentan las fases implicadas en el diseño, desarrollo e implementación del sistema experto. La metodología propuesta se integra por cuatro fases: la fase I conlleva definir las variables que conformaran el estudio a partir del conocimiento de expertos del comportamiento académico, y así determinar las entradas y salida de la BigData; posteriormente, la fase II comprende integrar la información de los expedientes

de estudiantes proporcionada por el Departamento de Tutorías de la IES bajo estudio a la BigData, una vez integrada se le aplica un análisis estadístico con la finalidad de identificar el efecto de los componentes principales; mientras que en la fase III, se determina la configuración de la Red Neuronal Artificial Monocapa o Multicapa que mejor ajusta los valores observados a los esperados a partir del desempeño de la red; finalmente, en la Fase IV se aplica la herramienta desarrollada en la predicción de nuevos casos y su validación por expertos, conformándose así el sistema experto.

Fase I. Análisis de Variables

Esta fase implica analizar las causas y los factores a nivel nacional que provocan la deserción en el nivel universitario. Según los datos del INEGI en el censo de población realizado en el año 2000, estas son:

- Causas personales, que incluyen a aquellos individuos que no les gusto o no quisieron estudiar.
- Causas económicas, que agrupan a los alumnos que por falta de dinero o porque tenían que trabajar tuvieron que abandonar sus estudios.
- Causas escolares, las cuales indican que los alumnos no continuaron con sus estudios debido a que la escuela estaba muy lejos o no había.
- Causas familiares, que incluye a los alumnos que ya no estudiaron por falta del apoyo familiar, porque ya no los dejaron o porque apoyarían en las tareas del hogar.
- Causa de matrimonio y unión, en la cual se incluyen aquellos estudiantes que debido a que decidieron unir sus vidas con una pareja ya no continuaron sus estudios.
- Otras causas, éstas se pueden deber a diversas circunstancias entre las cuales se pueden incluir los servicios brindados por la institución, la capacidad de entendimiento en los temas abordados, entre otras.

Las anteriores causas se definieron como variables de deserción, siendo estas: carrera, semestre, sexo, número de integrantes de familia, vive con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, número de hijos, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, localidad de nacimiento, trabajo, becado, escolaridad del padre, y escolaridad de la madre. A partir de la identificación de las variables, estas se validaron por expertos (psicólogos, directivos institucionales, docentes, alumnos, padres de familia), quienes establecieron las variables de entrada de interés en: carrera, sexo, número de integrantes de familia, viven con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, con quien vivirá durante los estudios, trabaja, profesión del padre, profesión de la madre, tipo de vivienda; siendo la variable de salida "¿continúo estudiando?".

Fase II. BigData y PCA

Con las variables definidas por los expertos, se procedió a conformar la BigData de los expedientes proporcionados por el área de Tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón (ITSPR), la cual considera 227 expedientes de la matrícula escolar 2015 y 2016, esto debido a que el ITSPR inicia actividades académicas como un Tecnológico desincorporado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) en el año 2014.

Los valores de las variables se codificaron de forma cuantitativa, de manera tal, que estas se analizaran a través del Principal Component Analysis (PCA). El PCA, es una técnica estadística multivariada que analiza la base de datos en la que las observaciones son descritas por las diversas variables dependientes cuantitativas interrelacionadas [17].

El objetivo del PCA, es extraer los patrones dominantes en la matriz en términos de conjuntos complementarios [18], siendo muy probablemente la técnica de reducción de dimensiones más conocida y empleada [19]. Al analizar las correlaciones de la matriz conformada por las observaciones y las variables de entrada, se obtiene el análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación de la Big Data.

Fase III. Construcción de la ANN

El campo de la AI, emana el intentar hacer pensar a las máquinas, i.e., crear máquinas capaces de reaccionar, ante ciertas circunstancias. La AI, se ocupa entender cómo piensan las máquinas y emular esos comportamientos de manera artificial, a través del desarrollo de máquinas que piense tal y como piensa un humano [20]. El campo de la AI incluye la lógica, probabilidad, y matemáticas continuas; percepción, razonamiento, aprendizaje, y acción; y todo, desde controladores micro-electrónicos hasta exploradores robóticos planetarios [21]. En [20] y [22-24] se presentan algunas de

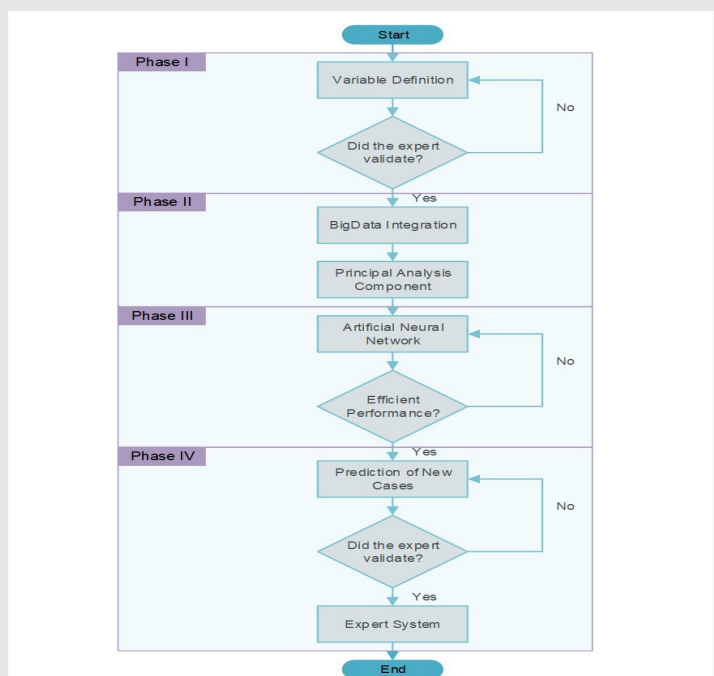


Figura 1. Fases de la metodología empleadas en el desarrollo del Sistema Experto.

las principales técnicas empleadas en el campo de la AI, tales como las Petri Nets, Expert System, Fuzzy Logic, Artificial Neural Networks, Evolutionary Computing, Genetic Algorithms, Genetic Programming y Chaos Theory. Según [25], las técnicas de la AI pueden ser altamente eficientes en el reconocimiento de patrones, realizando regresiones para el propósito de predicciones, y optimizando soluciones para problemas complejos no lineales.

Las ANN's, se desenvuelven en el campo de la clasificación, la predicción, y en la determinación de patrones de comportamiento. Son una herramienta muy recomendable en casos reales, en donde, el procesamiento de información es masiva, imprecisa y distorsionada. Las ANN's, son "... redes computacionales que intentar similar, de forma significativa, las redes de las células nerviosas (neuronas) del sistema nervioso central biológico (humano o animal). Es una simulación célula por célula (neurona por neurona, elemento por elemento). Que toma el conocimiento neuropsicológico de las redes biológicas y de la configuración de las redes" [26].

La aplicación de las ANN's, en la resolución de problemas, es simple, se parte de una base de datos -generalmente históricos-, la cual, típicamente está prescrita en variables de entrada, y variables de salida. Las variables de entrada, están conformadas por los factores y/o parámetros, que influyen significativamente en la(s) variable(s) de salida(s); y la(s) salida(s), es/son el/los factor(es) y/o parámetro(s) que se desea(n) predecir, clasificar y/o determinar su comportamiento. Por lo tanto, el objetivo es entrenar la red, de modo tal que, cuando casos nuevos sean presentados -entradas-, la red prediga el/los factor(es) y/o parámetro(s) deseado(s) -salida(s).

Para el caso bajo estudio, se prueban diversas configuraciones de ANN's evaluando el desempeño de cada una de estas, de manera tal que se determine una red con un desempeño asequible. Las ANN's se desarrollan en Matlab R2019a, empleando una *Feed Forward Back Propagation Net* (FFBPN), al tenerse los valores en la variable de salida, i.e., entrenamiento supervisado; y por consiguiente se emplea como función de entrenamiento el Algoritmo de Retropropagación Levenberg-Marquardt (LM) debido a que actualiza los valores de peso y sesgo; mientras que, como función de aprendizaje de adaptación se emplea un *Gradient Descent with Momentum* (GDM), la cual, considera los gradientes anteriores para suavizar la actualización; y como función de desempeño de la ANN, se establece el *Mean Squared Error* (MSE), como medida promedio de los errores, i.e., la diferencia al cuadrado promedio de los valores estimados y lo que se estima.

Debido a que se entrenan redes multicapa, la Big Data es dividida en tres subconjuntos: el (a) subconjunto de entrenamiento, empleado para calcular el gradiente y

actualizar los pesos y sesgo de la red; el (b) subconjunto de validación, el error de éste subconjunto se supervisa durante el proceso de entrenamiento, ya que cuando la red comienza a sobrentrenarse debido al sobreajuste de los datos, los pesos y sesgos de la red se guardan al mínimo error del subconjunto de validación; y el (c) subconjunto de prueba, el error de éste subconjunto no se emplea durante el entrenamiento, sin embargo es posible emplearlo para comparar diferentes modelos. Generalmente las proporciones para el entrenamiento, validación y prueba son del 70%, 15% y 15%, respectivamente [27].

Fase IV. Predicción de Nuevos Casos

La última fase comprende la implementación del sistema experto; para lo cual se extrae una muestra aleatoria representativa de la población bajo estudio, casos que no forman parte del entrenamiento, validación y prueba de la ANN. De los nuevos casos, se registra la información pertinente a las variables de entrada; para cada caso se predice la variable de salida, la cual a su vez es comparada con la salida real para cada caso.

RESULTADOS

La aplicación de la *Fase I*, permitió determinar según los expertos las variables involucradas en la deserción escolar, a partir de los factores del INEGI (personales, económicas, escolares, familiares, de matrimonio y unión, y otras causas). Teniendo así un total de 17 variables; siendo 16 variables de entrada (carrera, sexo, número de integrantes de familia, viven con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, con quien vivirá durante los estudios, trabaja, profesión del padre, profesión de la madre, tipo de vivienda) y 1 variable de salida binaria (¿continúo estudiando?). El considerar la apreciación de los expertos en la determinación de las variables de interés, permite robustecer las variables a considerar por el sistema experto.

En la *Fase II* son definidas las variables de entrada y salida, integrada con la información de 227 expedientes de la matrícula escolar 2015 y 2016 del ITSPR; expedientes proporcionada por el Departamento de Tutorías. Al aplicarse el PCA sobre la BigData, se identifican los componentes principales de las variables que representan patrones de comportamiento en la deserción escolar, e.g., en la Figura 2 se muestran las influencias de los dos primeros componentes principales, empleando Minitab 2018.

Algunos factores que influyen significativamente en la deserción escolar, en el ITSPR son:

- Carrera (Carrera Profesional). Implica los resultados de la interacción entre la planeación de las metas relacionadas con el trabajo y la educación [28].
- Sexo. Viene determinado por la naturaleza, es una construcción natural, con la que se nace [29].
- Número de integrantes de familia. Es un conjunto de

individuos unidos por un parentesco [30].

- Compromiso. Es el desarrollo de actos o acciones para concretar acuerdos y brindar confianza para presentar respuestas favorables [31].
- Estado civil. Es la situación personal en que se encuentra o no una persona física en relación a otra, con quien se crean lazos jurídicamente reconocidos [32].
- Padre y Madre. Es compartir un proyecto de vida en la cual se explora todo lo relacionado con el desarrollo personal de sentimientos asociados a una necesidad de formar una familia [33].

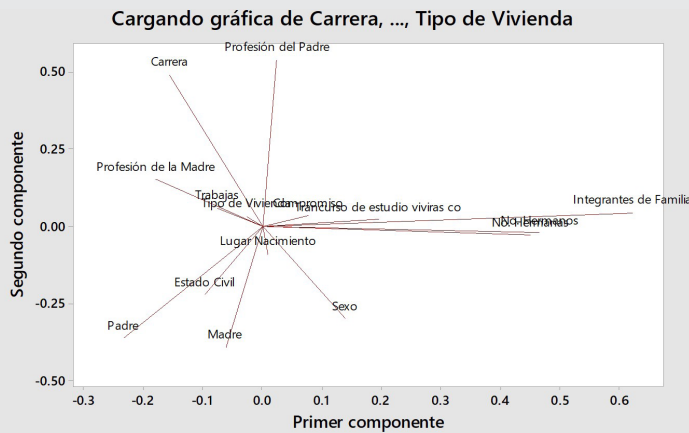


Figura 2. Gráfica de carga para los 2 primeros componentes.

En la Fase III, a partir de la información obtenida por el PCA, son probadas diversas configuraciones de ANN's que mejor ajusten los valores observados a los esperados a partir del desempeño de la red. La configuración que presentó mejor desempeño resultó ser una ANN multicapa: (a) una capa de entrada, la cual contiene las variables de entrada de interés; (b) tres capas ocultas, con 10 neuronas en la primera, 20 neuronas en la segunda y 20 neuronas en la tercera; y finalmente, (c) una capa de salida, que contiene la variable de salida de interés. En la Figura 3, se presenta el desempeño de la mejor red encontrada; el estado del entrenamiento registrado por la red se muestra en la Figura 4; mientras que la regresión lineal de los estimados en relación a lo que se estima, se presenta en la Figura 5.

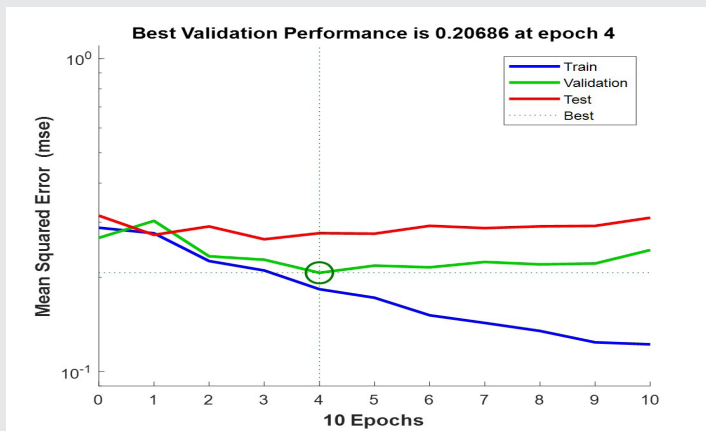


Figura 3. Desempeño de la red.

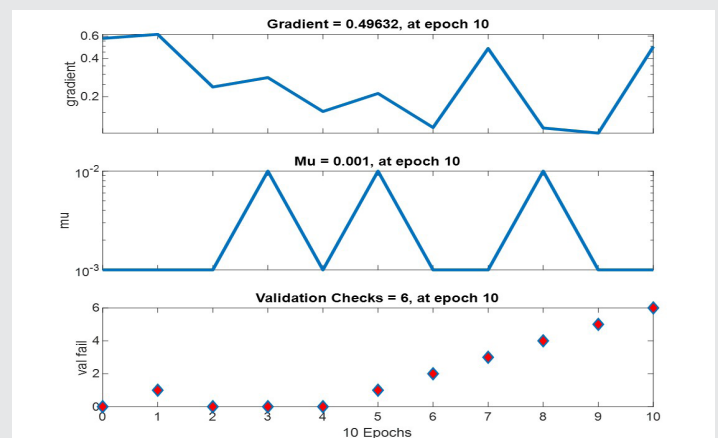


Figura 4. Desempeño durante el entrenamiento.

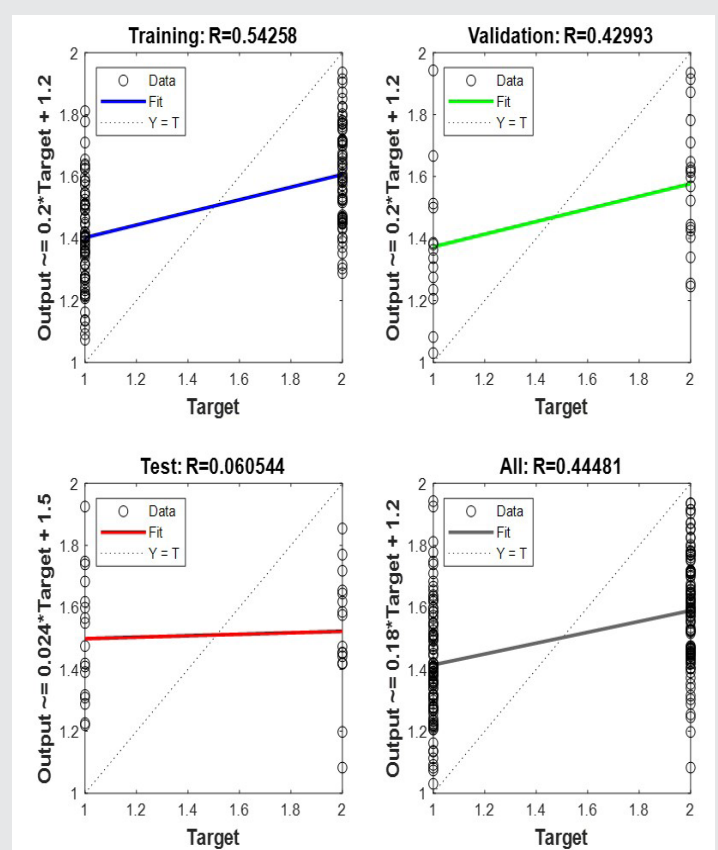


Figura 5. Regresión lineal de los estimados y lo que se estima

Finalmente, en la Fase IV el sistema experto desarrollado es implementado, y al mismo tiempo es validado por los expertos en el comportamiento de la deserción escolar. En la Figura 6 se presentan los estimados y lo que se estima por la red, en esta gráfica se aprecia una eficiencia del 90.90% de la red en la predicción de la deserción escolar en 88 casos. Finalmente, en la Figura 7 se presentan las variables que influyen significativamente en la deserción escolar universitaria; siendo las principales: con quien vivirá durante el transcurso de los estudios, estado civil y la carrera seleccionada, representando el 83.02% que describen dicho patrón de comportamiento del caso bajo estudio.

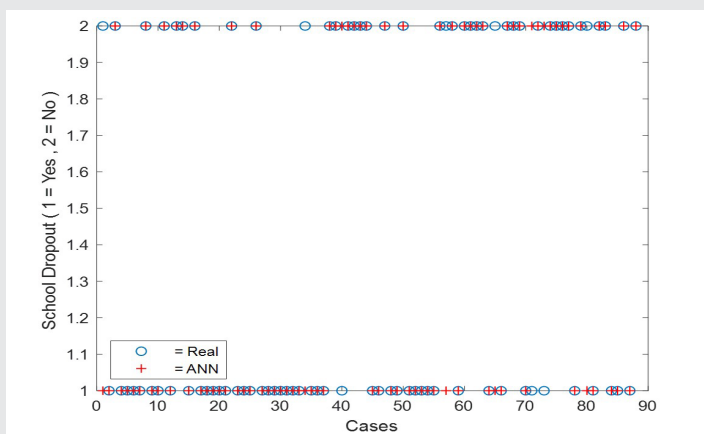


Figura 6. Desempeño del Sistema Experto en la predicción de nuevos casos.

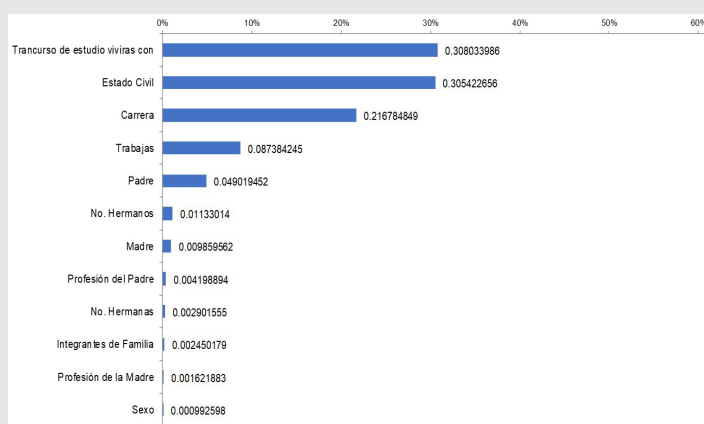


Figura 7. Variables de Impacto de la BigData.

CONCLUSIONES

El sistema experto inteligente desarrollado basado en una ANN multicapa y robustecido por el conocimiento de los expertos en deserción escolar, para predecir si un estudiante deserta o no del sistema del TecNM, a partir de las variables descriptivas del mismo es viable y eficiente, al presentar un desempeño en las predicciones ante nuevos casos del 90.90%. El empleo de la metodología propuesta, donde el sistema considera la experiencia de los expertos durante todo el proceso de diseño, desarrollo e implementación; valida en cada fase, el sistema experto. Al mismo tiempo, el estudio permite identificar que para el sistema del ITSPR existen 16 variables que según los expertos influyen en la decisión de un estudiante en continuar o no con su formación académica.

Con la implementación del sistema experto inteligente se da apoyo al Departamento de Tutorías de la IES bajo estudio, con lo que se establecen estrategias adecuadas, e.g., talleres de autoestima, cursos de nivelación académica, becas, que sirven de apoyo para que el estudiante, finiquite su formación profesional. Desde la implementación del sistema experto inteligente a la fecha se identificaron 20 estudiantes en riesgo de deserción,

de los cuales 18 al ser canalizados se identificó de manera fehaciente que abandonarían su formación profesional; a los estudiantes, identificados se les dio acompañamiento puntual, y así recibir apoyo de las instancias pertinentes, e.g., beca por parte de Servicios Escolares, apoyo psicológico por el Departamento de Tutorías, asesoría académica por el Departamento de Desarrollo Académico; evitando así que estos desertaran y actualmente continúan con su formación académica.

Es así, que la implementación del sistema experto como herramienta de detección, permite establecer estrategias de seguimiento y retención de estudiantes, para que estos concluyan su formación profesional y así apoyar al desarrollo de la región, del estado y del país. Como trabajo en desarrollo, el sistema se está robusteciendo con Fuzzy Logic, con la finalidad de modelar la subjetividad de los expertos del área del comportamiento en la deserción escolar.

BIBLIOGRAFÍA

[1] CEPAL. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible—Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Naciones Unidas.

[2] Jadue, G. (2002). *Factores Psicológicos que Pre-disponen al Bajo Rendimiento, al Fracaso y a la Deserción Escolar*. *Revista Estudios Pedagógicos*. Valdivia. (28) 193-204.

[3] Paramo, G. & Correa, C. (2012). *Deserción Estudiantil Universitaria—Conceptualización*. *Journal Universidad EAFIT*. 35(114) 65-78.

[4] Román, M. (2013). *Factores Asociados al Abandono y la Deserción Escolar en América Latina: Una Mirada en Conjunto*. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 11(2) 33-59.

[5] Palacios, J. R. & Andrade, P. (2007). *Desempeño Académico y Conductas de Riesgo en Adolescentes*. *Journal de Educación y Desarrollo*. (7) 5-16.

[6] Moreno, D. M. (2013). *La Deserción Escolar: Un Problema de Carácter Social*. *Journal In Vestigium Ire*. 6 115-124.

[7] Silvera, L. M. (2016). *La Evaluación y su Incidencia en la Deserción Escolar*. *Journal Educación y Humanismo*. 18(31) 313-325.

[8] Herrera, M. (2009). *El Valor de la Escuela y el Fracaso Escolar*. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 7(4) 254-263.

[9] Zuñiga, M. G. (2008). *Deserción Estudiantil en el Nivel Superior Causas y Solución*. México: Editorial Trillas.

- [10] Pineda, C. (2010). *La voz del Estudiante: el Éxito de Programas de Retención Universitaria*. UNESCO-IESALC. Colombia: UNESCO-IESALC.
- [11] Troussas, C., Chrysafiadi, K. & Virvou, M. (2019). An Intelligent Adaptive Fuzzy-Based Inference System for Computer-Assisted Language Learning. *Journal Expert Systems with Applications*. (127) 85-96.
- [12] Garshasbi, S., Mohammadi, Y., Graf, S., Garshasbi, S. & Shen, J. (2019). Optimal Learning Group Formation: A Multi-Objective Heuristic Search Strategy for Enhancing Inter-Group Homogeneity and Intra-Group Heterogeneity. *Journal Expert Systems with Applications*. (118) 506-521.
- [13] Alberola, J. M., Del Val, M., Sanchez-Anguix, V., Palomares, A. & Teruel, M. D. (2016). An Artificial Intelligence Tool for Heterogeneous Team Formation in the Classroom. *Journal Knowledge-Based Systems*. (101) 1-14.
- [14] Bajaj, R. & Sharma, V. (2018). Smart Education with Artificial Intelligence Based Determination of Learning Styles. *Journal Procedia Computer Science*. (132) 834-842.
- [15] Winkler-Schwartz, A., Bissonnette, V., Mirchi, N., Ponnudurai, N., Yilmaz, R., Ledwos, N., Siyar, S., Azar-noush, H., Karlik, B. & Del Maestro, R. F. (2019). Artificial Intelligence in Medical Education: Best Practices Using Machine Learning to Assess Surgical Expertise in Virtual Reality Simulation. *Journal of Surgical Education*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2019.05.015>.
- [16] Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A. & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial Intelligence Trends in Education: A Narrative Overview. *Journal Procedia Computer Science*. (136) 16-24.
- [17] Abdi, H. & Williams, L. J. (2010). Principal Component Analysis. *Journal WIREs Computational Statistics*. 2(4) 433-459.
- [18] Wold, S., Esbensen, K. & Geladi, P. (1987). Principal Component Analysis. *Journal Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2(1-3) 37-52.
- [19] Jolliffe, I. (2011). Principal Component Analysis. *Journal International Encyclopedia of Statistical Science*. 1094-1096.
- [20] Nilsson, N. J. (1998). *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. San Francisco-California: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- [21] Russell, S. J. & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Ed. 3. Malasya: Pearson Education Limited.
- [22] Vas, P. (1999). *Artificial-Intelligence-based Electrical Machines and Drives: Application of Fuzzy, Neural, Fuzzy-neural, and Genetic-algorithm-based Techniques*. New York: Oxford University Press.
- [23] Bäck, T. & Schwefel, H.-P. (1993). An Overview of Evolutionary Algorithms for Parameter Optimization. *Journal Evolutionary Computation*. 1(1) 1-23.
- [24] Tettamanzi, A. & Tomassini, M. (2013). *Soft Computing: Integrating Evolutionary, Neural, and Fuzzy Systems*. New York: Springer Science & Business Media.
- [25] Haupt, S. E., Lakshmanan, V., Marzban, C., Pasini, A. & Williams, J. K. (2008). Environmental Science Models and Artificial Intelligence, In: Haupt, S. E., Pasini, A. and Marzban, C. *Journal Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences*. Springer Science & Business Media 3-13.
- [26] Graupe, D. (2013). *Principles of Artificial Neural Networks: Advanced Series on Circuits and Systems*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [27] MathWorks. (2017). *Neural Network Toolbox—User's Guide*. Massachusetts: The MathWorks, Inc. Natick.
- [28] Caldas, M. E., Castellano, A. & Hidalgo, M. L. (2014). *Formación y Orientación Laboral*. Madrid: Editec.
- [29] Tubert, S. (2003). *Del Sexo al Género, los Equívocos de un Concepto*. España: Cátedra.
- [30] Gomes, C. (2001). *Procesos Sociales, Población y Familia: Alternativa Teóricas y Empíricas en las Investigaciones sobre la Vida Doméstica*. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- [31] Campos, A. (2010). *Violencia Social*. Costa Rica: Editorial de la UNED, ILANUD Naciones Unidas.
- [32] Ochoa, G. & Oscar, E. (2006). *Derecho Civil I: Personas*. Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
- [33] Givaudan, M. & Pick, S. (2016). *Yo papá, Yo Mamá*. México: Penguin Random House Grupo Editorial S.A. de C.V.



Ingeniantes

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla