



# Ingeniantes®

Año 7, No.2, Vol. 2

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla



Congreso Internacional  
de Ingenierías 2020

## Smart Cities

TecNM Campus Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



26 | Evento Virtual  
27 |  
28 | Noviembre 2020

## Smart Cities

Una aproximación emergente hacia el desarrollo sustentable



Telecommunications



Foods



Sustainability



Renewable  
Energy



Artificial  
Intelligence



Building  
Intelligence



Optimization



Business



Energy

## Edición Especial

Proyecto apoyado por el CONACYT

# Ingeniantes

Año 7 / No. 2 / Vol. 2

## Información Legal

**Ingeniantes**, año 7, No. 2, Vol 2. Diciembre 2020 - mayo 2021, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojollite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web [citt.itsm.edu.mx](http://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 Cojollite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 30 de noviembre 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' being orange and having a small orange dot above it. The letters are slightly shadowed, giving them a three-dimensional appearance as if they are floating above a surface.

Diciembre 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

**L.C. Carlos Landero Hernández**

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

## Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

Coeditor

Lic. Erik Balderas González

## Administración

Ing. Mayra Lizzeth Méndez Oloarte, ITSM, México

## Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

## Sistemas

Administradores de Sistemas

MSC. Fernando Alberto Hernández Guevara

Webmaster

L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

## Distribución

Publicación electrónica disponible en

[ciff.itsm.edu.mx/ingeniantes](http://ciff.itsm.edu.mx/ingeniantes)

Correo electrónico:

[revista.ingeniantes@misantla.tecnm.mx](mailto:revista.ingeniantes@misantla.tecnm.mx)

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

## 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. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM	SNI
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ	SNI
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET	SNI
Dr. Juan Carlos Gonzalez Hernández, ITM	SNI
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa	SNI
Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro	SNI
Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles	SNI
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM	C. SNI
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA	
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN	
Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH	
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT	
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa	
Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP	
Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia	
Dr. Ramón Álvarez López	
Dra. Laura Ruelas Monjardín	
Dr. Jesús Álvarez Cedillo	
Dr. Ramón Álvarez López	
Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM	
Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM	
Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, 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.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV	
M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV	
M.SI. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM	
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	
M.C. Alan Rico Barragán	
M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM	
M.I.I. Giovanni Luna Chontal	

# Ingeniantes



03



09



15



23



33

## Contenido

Validación de prueba de diseño de arado customizado de manera sustentable para la cosecha de tubérculos \_\_\_\_\_ 03

Lya Adlih Oros Méndez, Hulda Zulema del Ángel López, Adela Marisol Sierra Guerrero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí

Determinación de participación de componentes para la evaluación de las propiedades mecánicas y térmicas de un material compuesto (Thermo Egg). \_\_\_\_\_ 09

Emma Zayuri Castellanos Pulido, Ana Roselyn Pérez Méndez, Saúl Reyes Barajas, Leonel Lira Cortes, Instituto Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla Sergio Aurelio Zamora Castro, CENAM / Universidad Veracruzana

Producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos y su aplicación en cultivo de maíz \_\_\_\_\_ 15

Álvaro Chávez Galaviz, Lucía Torres Rueda, Adán Sánchez García, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlatlauquitepec

Análisis de variables fisicoquímicas y nitrógeno en suelos del estado de Hidalgo \_\_\_\_\_ 23

Luis Felipe Juárez Santillán; Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora; Rosa Icela Beltrán Hernández; Carlos Alexander Lucho Constantino, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Georgina Martínez Reséndiz; Juan José Balderas Pérez, Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora

Evaluación del contenido de cloro en botellas de PET mediante método químico y simulación \_\_\_\_\_ 33

Miguel Angel Del Ángel Hernández, Ana Beatriz Morales Cepeda, José Luis Rivera Armenta, Hugo Eduardo de Alva Salazar, Tecnológico Nacional de México / Centro de Investigación en Petroquímica



38



46



54



62



70

**Marco de innovación sustentable: una posible aplicación en la cadena de valor chile jalapeño en Quintana Roo \_\_\_\_\_ 38**

Sobrino Moguel, Jerry Francisco; Sosa Alcaraz, Mayanin Asunción, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mérida; Góngora Pérez, Rubén Darío, INIFAP / Campo Experimental Chetumal Quintana Roo; Sarmiento Franco, José Francisco, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mérida

**Relación sociedad y energía en regiones con potencial eólico de México \_\_\_\_\_ 46**

César Arturo Ramírez Dolores, Universidad Interamericana para el Desarrollo / Campus Coatzacoalcos; David Alejandro López Dolores Parque Eólico Oaxaca II y Oaxaca IV Acciona Energía; Gabriel Alfonso Jiménez Domínguez, Universidad Veracruzana / Campus Coatzacoalcos; Doreidi Lizeth García García, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa; Gerardo Alcalá Perea, Universidad Veracruzana / Campus Coatzacoalcos

**Control químico de hidratos debido al incremento de agua presente en pozo de gas \_\_\_ 54**

Carlos Alberto González Rodríguez; José de Jesús Ruíz Zamora; David Reyes González, Tecnológico Nacional de México / campus Mianlla

**Detección de individuos en acceso principal | Phyton & OpenCV \_\_\_\_\_ 62**

Uzziel Fuentes Enriquez, José Antonio Montero Valverde, Miriam Martínez Arroyo, José Francisco Gazga Portillo, Tecnológico Nacional de México / campus Acapulco

**Estimación de la carga mental de trabajo mediante minería de redes electroencefalográficas \_\_\_\_\_ 70**

Alejandro Del Rey Torres Rodríguez, María Luisa Córdoba Tlaxcalteco, Leslie Imelda Callejas Dorantes, Pamela Stephanie Rivera Pérez, Arnulfo Gamaliel Hernández González, Tecnológico Nacional de México / Campus Mianlla



Calidad

y

Sistemas de  
Manufactura

---

Ingeniantes

# Validación de prueba de diseño de arado customizado de manera sustentable para la cosecha de tubérculos

**RESUMEN:** La producción de camote en el país se ha ido incrementando, ya que se han estado explorando otras aplicaciones médicas y para alimento animal de este tubérculo, lo que hace que en diferentes estados de la república mexicana se comience con la siembra, para el estado de San Luis Potosí, específicamente en el municipio de Santa María del Río, resulta factible la siembra del mismo.

Por lo que el objetivo de la presente investigación busca validar la prueba de diseño customizado de manera sustentable a través de un dispositivo extractor de tubérculos para eficientar de forma sostenible los procesos recolectivos de los agricultores en el municipio de Santa María del Río del Estado de San Luis Potosí.

La investigación se desarrolló con estudio de tipo descriptivo y una metodología deductiva, con un enfoque mixto en el cual se utiliza la recolección y análisis de datos para construir el prototipo e implementar el sistema aplicando el uso de herramientas estadísticas, para validar la viabilidad del sistema mediante dos etapas (Estudio Preliminar y Diseño Conceptual).

Entre los resultados obtenidos se encuentra en las necesidades del cliente que buscan un dispositivo que no requiera electricidad, que se adapte a cualquier vehículo y que pueda recolectar cualquier tipo de tubérculo. Se presenta la propuesta de las dimensiones de la máquina extractora de tubérculos así como el diseño de la misma.

**PALABRAS CLAVE:** Prueba de diseño, arado, customización, tubérculos, validación de diseño, Ingeniería en Administración.



## Colaboración

Lya Adlih Oros Méndez, Hulda Zulema del Ángel López, Adela Marisol Sierra Guerrero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí

**ABSTRACT:** The sweet potato production in this country has been increasing, since other medical applications and for animal feed of this tuber have been explored, which means that in different Mexican states, planting begins, for the state of San Luis Potosí, specifically in the municipality of Santa María del Río, it is feasible to plant those.

Therefore, the objective of this research seeks to validate the custom design test in a sustainable way through a tuber extractor device to sustainably efficient the collection processes of farmers in the municipality of Santa María del Río in the State of San Luis Potosí.

The research was developed with a descriptive study and a deductive methodology, with a mixed approach in which the collection and analysis of data is used to build the prototype and implement the system applying the use of statistical tools, to validate the feasibility of the system. through two stages (Preliminary Study and Conceptual Design).

Among the results obtained are the needs of the customer who are looking for a device that does not require electricity, that adapts to any vehicle and that can collect any type of tuber. The proposal for the dimensions of the tuber extracting machine is presented as well as its design.

**KEYWORDS:** Design test, plow, customization, tubers, design validation, Administration Engineering.

## INTRODUCCIÓN

Partiendo de un enfoque global, hoy en día las empresas transnacionales enfrentan desafíos sustanciales con respecto a conceptos orientados de la Industria 4.0 punta. [1] focalizado a los sistemas cyber físicos o manufactura basada en la optimización de procesos y satisfacción del cliente, lo que propicia la inquietud de anticiparse mediante la gestión integral que abarque capacidades organizativas, productivas, tecnológicas y clientelares [2]. Por lo que la presente investigación se enfocará a la capacidad productiva a

través de la customización; [3] por donde se abarcarán la primera y segunda fase del proceso de la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto APQP (Advanced Product Quality Planning, por sus siglas en inglés), generando una propuesta de optimización de recursos a través del diseño y prototipado de una máquina extractora de tubérculos, para contribuir en un impacto social, económico y sustentable del municipio de Santa María en el Estado de San Luis Potosí.

La gestión integral es necesaria para combatir la escasez y la contaminación, para esta finalidad puede utilizarse un conjunto variado de métodos y técnicas, [4]. Además se requiere un marco legal o institucional que favorezca la aplicación de estos principios, acompañados de herramientas de trabajo y de metodologías para su implementación. La gestión integrada persigue que los aspectos económicos, sociales y ecológicos se interrelacionen de manera equilibrada, por tanto, su objetivo es desarrollar esquemas de ordenación y regulación de los recursos naturales que maximicen el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad ambiental. La gestión integral de recursos naturales a través de sus diversas formas de planeación debe permitir el manejo sistémico de los ecosistemas de un territorio, la conservación del ambiente para las generaciones presentes y futuras y por ende, el desarrollo sustentable de una región. Por lo que se busca con la presente investigación identificar materiales idóneos y sustentables para la propuesta de diseño de una máquina recolectora, a través de identificar una proveeduría local de alguno de ellos con la intención de beneficiar a la sociedad local, y al mismo tiempo buscando la optimización de costos.

Podemos entender a un tubérculo como aquellos tallos subterráneos modificados y engrosados, en los que se tienden a acumular los nutrientes, los cuales son utilizados como reserva para la planta. Su recolección se realiza en diferentes momentos del año, y entre los principales tubérculos comestibles que se recolectan cada cierto tiempo y que a día de hoy son sumamente consumidos en todo el mundo, destacan: las papas, los boniatos, el camote, la yuca, o la remolacha, entre otros. [5]

Propiamente para el desarrollo de la presente investigación, nos centramos en la cosecha y recolección de camote, encontrando que en México se siembran en promedio 3,000 hectáreas y se cosechan alrededor de 50,000 toneladas al año. El camote se produce en 26 estados del país y en el 2015 se cosecharon más de 2,560 has, con un rendimiento promedio de 17.72 ton/ha, para una producción cercana a las 46,000 toneladas y un valor total de la producción de 170 millones de pesos.

Debido a lo anterior, en México, específicamente en el municipio de Santa María del Río, S.L.P. se cuenta con agricultores que se dedican a la siembra y cosecha del

camote tanto como para consumo interno, así como para exportación debido a las características que se adecúan a los estándares internacionales para venta; por lo que las familias de ese municipio se dedican a la siembra de camote, que son alrededor de 20 familias y cada una llega a sembrar hasta 1 ha, dadas las condiciones de cuidado del camote que son muy apropiados para el clima en SLP.

La población que integra al municipio de Santa María del Río es de 40,326 personas contando con un total de viviendas de 9,509, con un grado promedio de escolaridad de 7.1 años. de los cuáles el 15.1% cuentan con instrucción media superior, el 66.7% cuenta con escolaridad básica, un 6% con instrucción superior y un 11.7 % sin escolaridad. El total de ingresos por suministros de bienes y servicios es de 617,421 miles de pesos, así como cuenta con un total de gastos por consumo de bienes y servicios de 510,447 miles de pesos. El personal que cuenta con un empleo es de 2,649 personas. [6].

### Planteamiento del problema

Debido a las características de este tubérculo, ha resultado sencillo para la población femenina y masculina (en edad de trabajar), el dedicarse a la siembra y cosecha del mismo, y por consecuencia algunos de ellos se han visto en la necesidad de abandonar sus estudios de educación superior, para ayudar al sostenimiento económico de sus familias, ya que son, por lo general, muy numerosas.

El dispositivo (máquina para arado) que se pretende diseñar para el apoyo a estos pequeños agricultores, puede ser utilizado para la cosecha de diferentes tubérculos, como la papa, remolacha, zanahoria, etc. Ya que tienen una forma parecida y se puede remover de la tierra con el mismo método. Para el caso del camote, se debe tener especial cuidado al no dañar la corteza, ya que es un fruto suave y se puede llegar a rasgar, lo cual provocaría que no pudiera cumplir con los estándares de la exportación.

Por lo que la necesidad que se busca atender consiste en eficientar el proceso de recolección de tubérculos, en particular del camote, por medio de una máquina recolectora (dispositivo) partiendo de la validación de su diseño contemplando la customización en su desarrollo de manera sustentable; al utilizar este dispositivo el operador podrá reducir en un 50% el tiempo de recolección, por lo que, si en la actualidad invierte 8 días hábiles para su trabajo podrá hacerlo en 4 días y recibir su remuneración económica en menor tiempo, permitiéndole ser contratado en otra parcela para mejorar sus ingresos.

### Pregunta de investigación:

¿Qué relación existe entre la optimización del proceso de recolección de tubérculos de manera sustentable y

la gestión integral del diseño de un dispositivo extractor de tubérculos contemplando la customización sustentable?

**Objetivo general:**

Validar la prueba de diseño customizado a través de un dispositivo extractor de tubérculos para eficientar de manera sustentable los procesos recolectivos de los agricultores en el municipio de Santa María del Rio del Estado de San Luis Potosí.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

La investigación se desarrolló con un estudio de tipo descriptivo y una metodología deductiva, mediante una validación de dos etapas de la Planeación Avanzada de la Calidad de un Producto (APQP).

**ETAPA 1: Estudio diagnóstico**

En esta etapa, se realizó una visita a los agricultores del Rancho “La Purísima” para conocer sus necesidades principales para la recolección de tubérculos, específicamente camotes, y así determinar las especificaciones que tendrá la máquina para la recolección de tubérculos, considerando los siguientes aspectos:

- Principales modos de operación y accidentales del producto (funcionamiento habitual, transporte, reparación, incidencias y accidentes)
- Entorno donde operará (atmósfera húmeda, seca, corrosiva, lugar de resguardo)
- Servicios de entorno (dónde y cómo va a alimentarse, infraestructuras requerida, mantenimiento y reparación).

Para el diseño mecánico se consideró el proceso de despliegue de la función de calidad QFD (Quality Function Deployment por sus siglas en inglés), dónde se consiguió la información subsecuente, en el que se obtuvo la tabla que muestra las necesidades desde el punto de vista del cliente y las especificaciones que resultan de esas necesidades, entendiendo a I=Ingeniería, C=Cliente, R=Requerido, D=Deseable. Ver tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones para el Diseño

Producto: DISPOSITIVO PARA LA RECOLECCIÓN DE TUBÉRCULOS.			
ESPECIFICACIONES INICIALES			
CONCEPTO	C/I	R/D	DESCRIPCIÓN
FUNCIÓN	C/I	R	Realizar la recolección de tubérculos por surco.
	I	R	Realizar la operación en forma segura y ergonómica.
	C	R	Separar los tubérculos entre sí.
OPERACIONES NECESARIAS	I	R	Recolectar todos los frutos que se encuentran en el surco.
	I	D	Eliminar piedras y ramas sueltas.
CALIDAD FINAL	C	R	Verificación de la condición de la piel del tubérculo.

Fuente: Elaboración propia

Se consideró apoyarse del QFD dado que contempla las especificaciones del cliente lo que permite hacer evidenciar una customización con respecto a las especificaciones y requerimientos técnicos por parte del cliente, contemplando 10 necesidades que se convirtieron en 10 parámetros de diseño para realizar las comparaciones y ver cuáles son las que impactan más en el diseño y que se consideren todos los requerimientos del cliente, Ver tabla 2.

Tabla 2. Características para considerarse en el QFD

Nº	NECESIDADES DE CLIENTE	PARÁMETROS DE DISEÑO
1	Altura adecuada	Recolector de tubérculo
2	Sencillo de operar	Cortadores/Cuchillas
3	No esfuerzo físico	Contenedor de fruto
4	No electricidad	Contenedor de residuos
5	Cualquier vehículo	Sujetador de fruto
6	Cualquier tamaño de fruto	Mantenimiento
7	Compacto	Seguridad
8	No herramientas adicionales	Desmontable
9	Poco peso	Portátil
10	Económico	Escalable

Fuente: Elaboración propia

Posterior la documentación de necesidades e identificación de parámetros, se realizó una comparativa entre ambos para validar las especificaciones por parte del cliente con respecto al diseño del dispositivo.

**ETAPA 2: Diseño conceptual del dispositivo**

Para dar paso a esta segunda etapa se revisaron las especificaciones preliminares y así se obtuvieron diversas alternativas de solución, permitiendo elegir la más factible.

Derivado de los resultados planteados en el QFD se puede observar que como entrada se cuenta con el tubérculo y con la energía que será necesaria para que funcione el dispositivo; contemplando que en el proceso se tiene que sujetar la herramienta de recolección para posteriormente recoger el tubérculo y posteriormente colocarlo en el contenedor, y así consecutivamente realizar esta operación para obtener a el tubérculo ya separado de la guía.

**RESULTADOS**

Partiendo de los resultados más sobresalientes de los métodos y herramientas utilizadas, encontramos los siguientes por etapa.

**Etapa 1: Estudio diagnóstico**

Partiendo de la interpretación del QFD que se desarrolló podemos visualizar la siguiente gráfica de Pareto que muestra las ponderaciones que tienen mayor valor según las necesidades del cliente. (figura 1). Como re-

sultado podemos observar que los parámetros de “No electricidad” refiriéndose a que el dispositivo no utilice energía eléctrica para su funcionamiento, “cualquier vehículo” contemplando a que el dispositivo tenga versatilidad de poder ser utilizado tanto en un tractor como en cualquier camioneta y “cualquier tamaño de fruto” partiendo de que el dispositivo debe ser útil para cualquier tubérculo. Son los más importantes para que se consideren en el diseño, es decir no pueden faltar en el dispositivo propuesto.

Para el resto de los parámetros, también se deben considerar en el diseño aunque no sean tan relevantes como los mencionados.

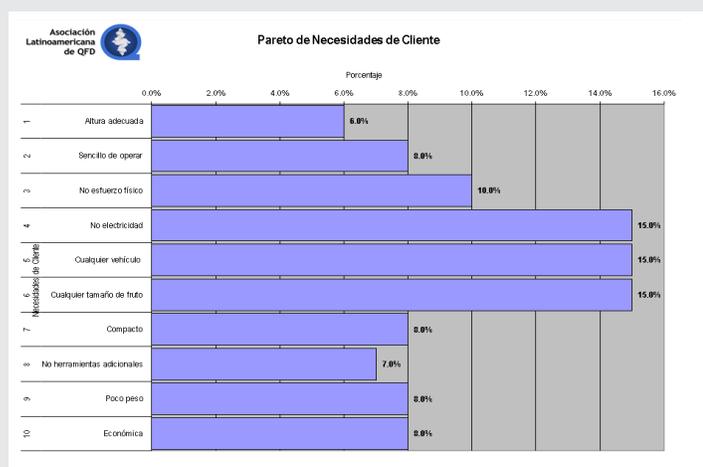


Figura 1. Pareto de necesidades del cliente. Fuente: Elaboración Propia

## Etapa 2: Diseño Conceptual. Dibujos y especificaciones del dispositivo, detallados, como resultaron, el software que se utilizó.

El resultado de las funciones que deberán ser realizadas por los componentes del dispositivo, contempla la operación de sujetar herramienta de recolección mediante unos clamps de sujeción y cortadores; por lo que la operación de recoger el tubérculo podrá ser realizada por un mecanismo de recolección, sujetadores manuales o mordazas y para la contención de piedras y raíces sueltas, permitiendo así llevar a cabo la recolección en una canastilla de metal.

Revisando estos diagramas, se comenzaron a generar las propuestas para los elementos que conformarían la máquina/dispositivo, por lo que para tener un diseño más asertivo se realizó una evaluación cualitativa para cada elemento, las cuáles se pueden verificar en la tabla 2.

Una vez revisado el diagrama de funciones del dispositivo, se buscaron las opciones de los elementos para llevar a cabo las operaciones dentro de todo el dispositivo recolector, proponiendo los siguientes pasos que llevará a cabo el dispositivo contemplando la cus-

tomización sustentable: Para la función de sujeción se propuso utilizar sujetadores o clamps para la función de recolección, así como cortadores manuales para hacerlo de manera manual, y para los dispositivos recolectores también cuentan con la opción de dos tipos de recolectores para elegir uno de ellos.

Se puede visualizar el Pareto de los requerimientos de diseño que se deben enfocar para realizar la customización del dispositivo (figura 2). Al evaluar los parámetros de diseño, se puede observar que los puntos más importantes a considerar son los de “recolector de tubérculo”, “cortadores” y “contenedor de fruto”, lo que significa que estos componentes no pueden faltar al diseñar un dispositivo recolector de tubérculos.

Estos 3 componentes o mecanismos son indispensables para la fabricación del dispositivo recolector de tubérculos, para el resto de los componentes que cuentan con ponderación más bajas, serán incluidos de igual manera en el dispositivo aunque cabe resaltar que no son tan relevantes. [7]

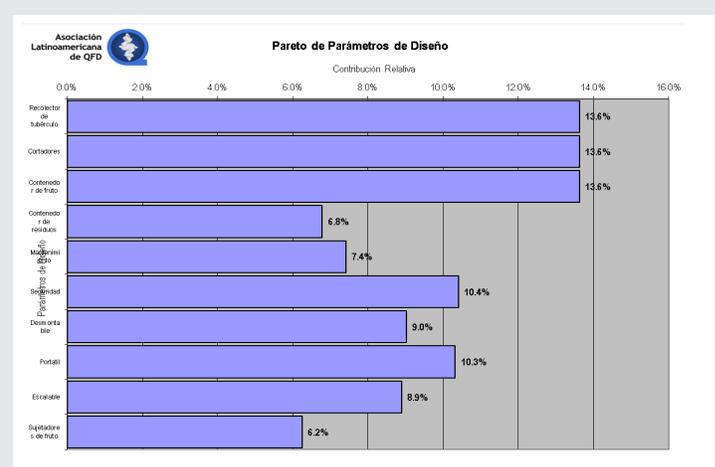


Figura 2. Pareto de diseño de la máquina recolectora de tubérculos. Fuente: Elaboración Propia

Una vez seleccionados los materiales para el diseño del dispositivo recolector, se buscó el dimensionamiento general del dispositivo, por lo que se utilizó el software de diseño Solid Works, como se puede ver en figura 3.

En la figura 4, se muestra el dimensionamiento general de la máquina propuesta, lo que indica que puede ser jalada por cualquier vehículo de trabajo, ya sea una camioneta o un tractor de trabajo.

Una de las ventajas competitivas del presente dispositivo es que el agricultor ya no tiene que estar en el campo realizando la operación de corte y tener que inclinarse para recolectar el fruto, solo tendrá que recoger de la canasta los frutos y separarlos de acuerdo a los requerimientos de su cliente.

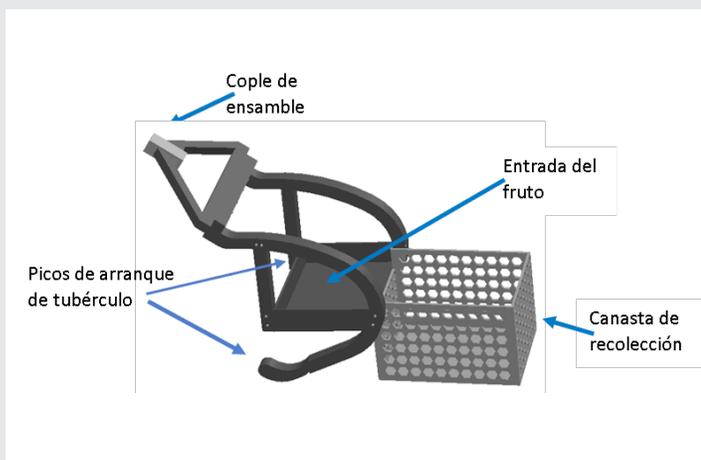


Figura 3. Propuesta de máquina extractora de tubérculos.  
Fuente: Elaboración Propia

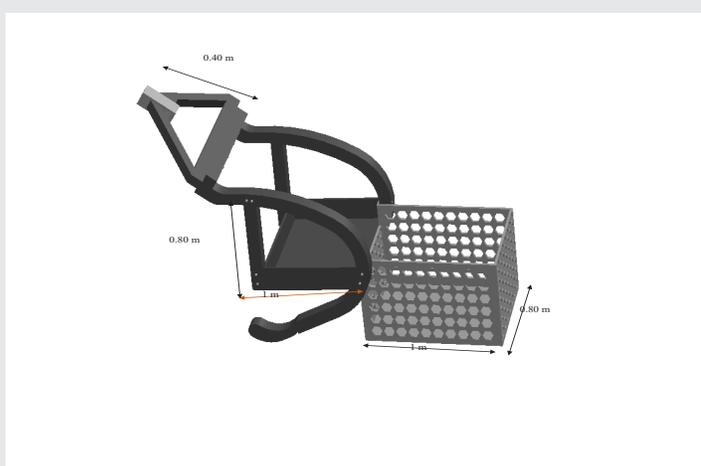


Figura 4. Dimensiones de la máquina extractora de tubérculos  
Fuente: Elaboración propia.

- Se obtuvieron alrededor de 100Kg de camote recolectado por surco.
- La profundidad a la que se encontró el fruto, fue aproximadamente de 10 cma ras del suelo.
- Todo lo anterior se cubrió en un tiempo de 8 hrs, lo que anteriormente tomaba casi dos días de trabajo de 8hrs.

El agricultor pudo reducir el tiempo de recolección de fruto y por lo tanto, cumplió con sus entregas a tiempo y sobre todo, con el menor esfuerzo del operador.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1] C.-M. V. Alcácer V, «Scanning de Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems,» vol. 22, nº 3, pp. 899-919, June 2019.

[2] R. K. a. J. P. J. Becker, «Developing Maturity Models for IT Management: A Procedure Model and its Application.,» Business & Information Systems Engineering, vol. 1, nº 3, pp. 213-222, June 2009.

[3] W. y. McDonald, «"la supremacía de la marca, la ubicuidad de las comunicaciones y el entretenimiento,» vol. 12, nº 185, 2008.

[4] K. Chang, «E-Design,» pp. 743-786, 2015.

[5] C. Pérez, «Naturesan,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.naturesan.net/tuberculos-beneficios-y-propiedades/>.

[6] INEGI, «Instituto Nacional de Estadística y Geografía,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx>.

[7] E. M. L. A.-E. F.-È. Bordeleau, «Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities.,» de Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences, 2018.

**CONCLUSIONES**

Deben basarse solamente en los datos presentados en el trabajo de investigación. En este apartado se debe incluir las recomendaciones o hacer alusión a trabajos futuros.

Podemos concluir con la investigación realizada, que el dispositivo primeramente cubre las expectativas del cliente, (Figura 1) ya que se ha realizado el diseño en base a sus necesidades, como segundo lugar, se considera un modelo sustentable, que no requiera de gasto de energía extra para ser utilizado, sino solo la del vehículo que moverá el dispositivo a través de los surcos para ir recolectando el fruto, y como tercer punto, se puede validar el diseño a través de software que pueda realizar pruebas mecánicas mucho antes de ser probado en campo, para garantizar sus resultados.

Al momento de ser utilizado el dispositivo, se obtuvo lo siguiente:

- Se cubrió un área de 1600 m2, ya que se pasó a través de 40 surcos de 40 m c/u.



# Sustentabilidad y Sostenibilidad

---

# Ingeniantes

# Determinación de participación de componentes para la evaluación de las propiedades mecánicas y térmicas de un material compuesto (Thermo Egg).

**RESUMEN:** En la presente investigación, se estudió el comportamiento mecánico y térmico del material compuesto de poliestireno expandido (EPS), libre de aire, y con un refuerzo natural de cascarón de huevo con membrana. Con el objetivo de crear un material nuevo que permita ser una alternativa para los problemas ambientales que existen en la actualidad. El procedimiento, para la liberación del aire del poliestireno expandido a través de un solvente y la preparación del refuerzo natural a partir de los residuos orgánicos del huevo de ave. En ese sentido es pertinente el diseño experimental para mezclas, específicamente el diseño simplex - lattice, para determinar el porcentaje de participación de cada uno de sus componentes.

Este material sometido a pruebas mecánicas y pruebas de conductividad térmica en laboratorios certificados cuenta con una resistencia mecánica de 96.4 Kg/cm<sup>2</sup>, un módulo de elasticidad de 627.77 Kg/cm<sup>2</sup>, un porcentaje de deformación de 24.54% y un coeficiente de conductividad térmica de 0.232 W/m\*k.

El material Thermo Egg mejora significativamente con estas propiedades mecánicas y térmicas del poliestireno expandido convencional, además, convertirse en una alternativa de material aislante de bajo costo y mayor resistencia en comparación con los que actualmente se encuentran en el mercado.

**PALABRAS CLAVE:** Cascarón de huevo, Coeficiente de conductividad térmica, Diseño de experimentos, Poliestireno expandido, Resistencia mecánica.



## Colaboración

Emma Zayuri Castellanos Pulido, Ana Roselyn Pérez Méndez, Saúl Reyes Barajas, Leonel Lira Cortes, Instituto Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla Sergio Aurelio Zamora Castro, CENAM / Universidad Veracruzana

**ABSTRACT:** In the present investigation, the mechanical and thermal behavior of the composite material of expanded polystyrene (EPS), free of air, with a natural reinforcement of eggshell with membrane was studied; the procedure, for the air release of the expanded polystyrene through a solvent and the preparation of the natural reinforcement from the organic residues of the poultry egg; in order to obtain a new material, having better characteristics than the used ones. Prepared based on a design of experiments for mixtures, specifically the simplex - lattice design, to determine the percentage of participation of each of its elements.

This material subjected to mechanical tests and thermal conductivity tests in certified laboratories, has a mechanical resistance of 96.4 Kg / cm<sup>2</sup>, a modulus of elasticity of 627.77 Kg / cm<sup>2</sup>, a percentage of deformation of 24.54% and a coefficient of thermal conductivity of 0.232 W / m \* k.

The Thermo Egg material improves significantly with these mechanical and thermal properties of conventional expanded polystyrene, in addition, becoming an alternative of insulating material with low cost and greater resistance compared to those currently on the market.

**KEYWORDS:** Eggshell, Coefficient of thermal conductivity, Design of experiments, Expanded polystyrene, Mechanical resistance.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las cifras de SEMARNAT en el 2017 en México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93%, y el 78.54% disponen de un sitio oficial para su correcta disposición, de estos residuos

generados solo se recicla el 9.63%. En el municipio de Misantla se generan 50 toneladas diarias, 21 toneladas son residuos alimenticios y 10.5 toneladas es plástico, que es donde se clasifica el poliestireno expandido, teniendo un equivalente de 5 kg. En respuesta a esta necesidad, surge la inquietud de generar soluciones que permitan el aprovechamiento de residuos generados de las diferentes actividades, es un reto en materia de sustentabilidad ambiental, por otra parte, constituye a disminuir la generación de residuos y darles un segundo uso, como es el caso de los residuos generados por el consumo de huevos de gallina y el poliestireno expandido utilizado para empaques y embalajes. El objetivo de este estudio fue el de determinar el porcentaje de participación de los componentes para desarrollar un nuevo material, compuesto por una mezcla de dos materiales diferentes, poliestireno expandido (unicel) liberado de aire por medio de un solvente y cascarón de huevo pulverizado como refuerzo, con mejores características de los usados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la elaboración de este material se utilizó una metodología con cinco fases:

**Fase 1:** Se determinaron las características correctamente para la materia prima y los requisitos de la muestra.

La caracterización de la materia prima se determina por los componentes de la mezcla: poliestireno expandido + cascarón de huevo + solvente.

Poliestireno expandido de acuerdo con la clasificación que dicta la norma ASTM C578, cascarón de huevo tamizado bajo la norma ASTM E11-13 con un tamiz de 50 ASTMS y uso de solvente patente de EP1013708A3 que es el Thinner americano no solo por sus características es el que mejor reacciona con la mezcla.

**Fase 2:** El diseño de mezclas lattice o reticular,  $\{q, m\}$  considera  $q$  componentes (en este caso tres componentes), y permite ajustar un proceso estadístico  $m$ . Los puntos del diseño consistente en todas las posibles combinaciones de componentes o mezclas que se forman a considerar proporciones pueden tomar valores  $m+1$  entre cero y uno, dado por:  
 $X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m$  [1]

El diseño reticular que se usó para este caso, es el de  $\{3,2\}$ , e implica que  $q = 3$  y  $m = 2$ ; por ello, los valores que los componentes toman son de  $X_i = 0, 1/2, 1$ . Con lo que las mezclas de tres componentes que se pueden formar con estos valores son:

$(X_1, X_2, X_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2)$  y  $(0, 1/2, 1/2)$

La representación gráfica de este diseño se representa en la figura 1.

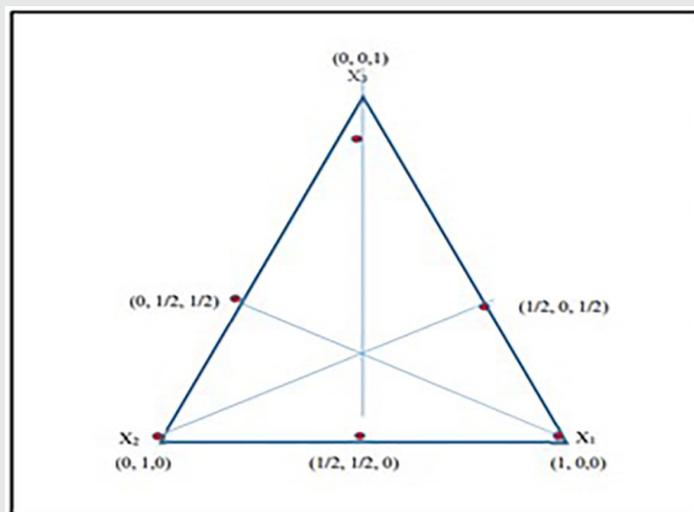


Figura 1. Diseño simplex-lattice para la mezcla Thermo Egg.

**Fase 3:** Con la ayuda del Software STATGRAPHICS Centurión, que utiliza estadística avanzada, para analizar datos y combinarlos con procedimientos analíticos y gráficos interactivos. Se corre el modelo de Diseño de mezclas, por el método simplex, por recomendación del mismo software, con un diseño de vértices extremos, este es que abarcan solo una porción o un espacio más pequeño dentro del simplex.

El modelo estadístico resultante se muestra en la Tabla 1, a continuación.

Tabla 1. Experimentos resultantes por STARGRAPHICS

Experimento	% de cascarón de Huevo	% de Poliestireno Expandido	% de thinner en mml
1	60	15	25
2	40	15	45
3	45	30	25
4	40	30	30
5	53.125	18.75	28.125
6	43.125	18.75	38.125
7	45.625	26.25	28.125
8	43.125	26.25	30.625
9	50	15	35
10	52.5	22.5	25
11	40	22.5	37.5
12	42.5	30	27.5
13	46.25	22.5	31.25

Como se observa, el software arroja 13 experimentos, cada experimento se repetirá dos veces para sacar un promedio de las lecturas que arroje 26 probetas o muestras. Y como se realiza la prueba con tres tamaños de partícula diferentes (tamiz ASTM 16, tamiz

ASTM 20 y tamiz ASTM 50), se tiene un total de 78 probetas o muestras, para determinar las propiedades de la mezcla.

**Fase 4:** Las pruebas mecánicas son ensayos destructivos en las que los materiales de estudio son sometidos a esfuerzos mediante la aplicación de una fuerza externa hasta su deformación y/o ruptura, para determinar sus propiedades de dureza, elasticidad, fragilidad y resistencia a la penetración. Se pueden estudiar materiales diversos como: polímeros, metales de baja dureza, materiales cerámicos, materiales compuestos, productos farmacéuticos y alimentos, así como productos o piezas elaboradas con estos materiales. [2]

Una vez validado el sistema de medición, por medio de un análisis de repetibilidad y reproducibilidad, que verifica el sistema de medición de las pruebas con una variación de 27.6 %. Con base al diseño experimental se elaboran trece mezclas las diferentes y sus resultados con pruebas mecánicas que mostrará más adelante en los resultados.

Las pruebas de compresión y elasticidad se realizaron en el Laboratorio de Materiales Avanzados de la Universidad Veracruzana, especializado en la fabricación y caracterización de nuevos materiales.

A continuación, en la figura 2 se muestran las dimensiones correspondientes a los ensayos con el tamiz ASTM malla 50, la muestra uno y la muestra cinco no se puede llevar acabo con todas las proporciones ya que en el caso de la muestra uno que se realiza con 60 gr de cascarón de huevo + 15 gr de poliestireno expandido + 25 ml de solvente, al ser poco poliestireno esta probeta tiene un sobrante de cascarón de 3.7 gr. En la muestra cinco la mezcla 53.125 gr + 18.75 gr + 28.125 ml., con un sobrante de 8.9 gr de cascarón [3], y con la respuesta relacionada a las propiedades mecánicas se determina la formula donde los componentes contribuyen más a las respuestas.

**Fase 5:** Con base a la optimización del diseño experimental se tiene como resultado la siguiente participación de los componentes optima: 43% de cascarón de huevo+ 15% de poliestireno expandido + 25% Solvente.

Con un mínimo y máximo de cascarón de 40% - 60%; Poliestireno expandido 15% - 30 % y solvente en 25% - 45%.

Con estos resultados obtenidos se establece el proceso de producción preliminar para este material y se determina la conductividad térmica.

**Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG).**

La prueba de conductividad térmica, λ, de este material, fue realizada en el Centro Nacional de Metrología (CENAM). El equipo utilizado en la medición es un instrumento de placa caliente con guarda de doble lado de medición. El instrumento está compuesto por una placa caliente central y dos placas frías en los extremos. [4] En la figura 3 se muestra una fotografía del instrumento.



Figura 3. Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG).

Cada una de las muestras se coloca entre la placa fría y la placa caliente central, una transferencia de energía térmica (calor) se genera en la placa caliente hacia las placas frías a través de las muestras. La guarda reduce las perdidas por transferencia radial de calor. Las temperaturas de las placas y la guarda se miden con termopares calibrados, el área de medición y el espesor con un medidor Vernier.

La conductividad térmica del material se determina a partir de la ecuación de estado estable para el instrumento de placa caliente con guarda:

$$\lambda = \frac{q L}{2A \Delta T} \quad \text{Ec. (1)}$$

En la cual:

q es el flujo de calor a través de la muestra en W.

λ es la conductividad térmica aparente de la muestra en W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>.

MUESTRA	CARAS	MUESTRA	CARAS	MUESTRA	CARAS
1		5		9	1.2   1.7
PESO		PESO		PESO	1.8
					5.1
MUESTRA	1.4   1.65	MUESTRA	1.3   1.7	MUESTRA	1.6   1.3
ALTURA	1.2	ALTURA	1.65	ALTURA	1.9
PESO	3.6	PESO	3.9	PESO	4.05
MUESTRA	1.4   1.5	MUESTRA	1.2   1.65	MUESTRA	1.8   1.2
ALTURA	1.7	ALTURA	1.75	ALTURA	1.8
PESO	3.5	PESO	3.55	PESO	3.2
MUESTRA	1.6   1.6	MUESTRA	1.5   1.5	MUESTRA	1.4   1.65
ALTURA	1.3	ALTURA	1.85	ALTURA	1.75
PESO	3.1	PESO	4.6	PESO	3.6
				MUESTRA	1.3   1.2
				ALTURA	1.7
				PESO	3.75

Figura 2. Dimensionamiento promedio de las probetas o muestras con ASTM malla 50.

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura aplicada a la muestra en °C o °K.

$L$  es el espesor de la muestra en m.

$A$  es el área efectiva de la sección transversal en m<sup>2</sup>.

Cuando una muestra de material es un compuesto laminar, contiene porosidades, celdas vacías o mezclas de materiales, el calor se puede transferir por convección y radiación, además de la conducción, en estos casos al parámetro  $\lambda$ , de la ecuación anterior, se le denomina conductividad térmica efectiva o aparente.

Se estableció el estado permanente en las muestras. Una vez terminada la medición se desmontaron las muestras del equipo y se verificó la integridad física del material.

Con las cantidades de contribución mayor para el aporte de propiedades mecánicas El material fabricado tiene como resultado una resistencia mecánica de 96.4 Kg/cm<sup>2</sup>, un módulo de elasticidad de 627.77 Kg/cm<sup>2</sup>, un porcentaje de deformación de 24.54%.

## RESULTADOS

Con base en los resultados mecánicos de cada una de las muestras o ensayos realizados, se podría concluir sobre que muestra cuenta con mayores propiedades, pero esto se vuelve complejo cuando se analiza y se ve que unas muestras presentan mayor resistencia, mientras que otra, mayor módulo de elasticidad. Es aquí donde radica la importancia del modelo de diseño de mezcla (DOE) para determinar la muestra que usando las proporciones óptimas permite tener los mejores resultados en todas las variables.

En la Tabla 2, se muestran los resultados promedio de las pruebas mecánicas que se obtuvieron después de realizar ensayos a las diferentes muestras. Los resultados siguientes son de las muestras elaboradas con un tamaño particular, se puede observar que la mezcla que se obtiene para obtener resultados óptimos con respecto a la resistencia a la compresión y al % de deformación es la combinación de cascarón 40% + Poliestireno Expandido 15% + Solvente 45%, estas proporciones las posee la probeta dos y posee los siguientes resultados.

A continuación, en la tabla 3 se muestran los resultados del estudio de conductividad térmica realizado con el Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG), realizado en el CENAM.

Tabla 2. Resultados mecánicos promedio

TAMIZ 50				
No	Resistencia	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO
	PROMEDIO	% Deformación	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Volumetrico (g/cm <sup>3</sup> )
2	94.295	20.546	568.635	1.10
3	45.456	12.500	363.711	0.96
4	51.603	13.780	374.503	0.91
6	45.914	12.246	381.810	1.08
7	47.023	10.710	442.974	1.10
8	30.453	7.816	398.096	1.04
9	43.901	11.920	388.552	1.25
10	58.549	13.654	459.056	1.03
11	15.432	18.729	85.792	0.78
12	18.992	13.728	139.539	0.80
13	71.648	15.655	496.431	1.20

Tabla 3. Resultados del procedimiento aparato de placa caliente con Guarda (APCG).

Número de Prueba: Uno	Lugar donde se realizó la medición: CENAM
<b>Descripción de la muestra</b>	
<b>Características:</b> Material compuesto.	
<b>Identificación:</b> 1-C y 2-C	
<b>Dimensiones:</b> Placas de 16 cm x 16 cm x 1.34 cm.	
<b>Descripción del patrón</b>	
<b>Patrón nacional:</b> CNM-PNE-16.	
<b>Nombre del aparato:</b> Aparato de placa caliente con guarda.	
<b>Orientación de los planos:</b> Horizontal.	
<b>Modo de operación:</b> Doble lado de medición.	
<b>Procedimiento de prueba</b>	
Estado permanente con aparato de placa caliente con guarda	
<b>Valores experimentales</b>	
<b>Nombre de la variable:</b>	
Calor disipado durante la prueba / W	11.44
Temperatura en la placa caliente / °C	29.79
Temperatura en la placa fría / °C	14.37
Gradiente de temperatura en la muestra / °C	15.43
Temperatura media o de la prueba / °C	22.08
Temperatura ambiente / °C	21.16
Humedad relativa / %HR	54.4
Espesor promedio de las muestras / m	0.0134
Área de medición / m <sup>2</sup>	0.0214484
Conductividad térmica aparente / W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	<b>0.2322</b>
Incertidumbre relativa expandida (k=2) / %	<b>6.8</b>
Peso final 1-C / g	456.6
Peso final 2-C / g	455.9

Estableciendo una comparación con diferentes materiales en relación con el coeficiente de conductividad tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de conductividad térmica (APCG).

Material	Coeficiente de conductividad térmica. W/m*K
Asfalto	0.74-0.76
Arcilla cocida a 1450°C	1.28-1.4
Baquelita	0.233
Cemento	1.004
Granito	3.000
Fibra de vidrio	0.035
Madera	609-801
Yeso	0.814
Poliestireno	0.157
<b>Thermo Egg</b>	<b>0.232</b>

## CONCLUSIONES

La importancia del diseño de una mezcla a través del DOE (diseño de experimentos) en comparación con el método tradicional del ensayo y error, radica en que este método permite conocer las proporciones correctas a utilizar de cada componente y con base en los porcentajes resultantes de estos, se puede obtener una mezcla que como respuesta cuenta con propiedades mecánicas superiores a las de los componentes utilizados para su elaboración.

Este es el caso del material Thermo Egg, el cual, en comparación con el poliestireno expandido y de acuerdo a la ficha técnica que se tiene de sus propiedades según KNAUF (empresa dedicada a las ventas de poliestireno expandido para la construcción), las placas de poliestireno expandido sometidos a cargas, como son suelos, cubiertas, aislamiento perimetral de muros, etc; la deformación en estas aplicaciones es inferior al 10 % y por influencia de compresión tiene  $\% \leq 2$  %. Para este material podemos alcanzar un  $\% \geq 20$ .

Con respecto a la compresión el poliestireno expandido posee  $\geq 1$  y un módulo de elasticidad  $\geq 1.5$ , en cuanto a esa característica lo resultados de este material para la compresión es  $\geq 90$  y el módulo de elasticidad es de  $\geq 500$ . En cuanto a la dureza tiene un resultado muy similar a la madera.

Con respecto al fuego los productos de poliestireno expandido al ser expuestos a temperaturas superiores a 100 °C se reblandecen mientras que, en muestras de este material, se consume el fuego y queda el material quemado, en un 10%, aproximadamente expuesto a una temperatura de 378 °C hasta 400 °C.

Al igual que el poliestireno expandido es un material que se podría usar como aislante térmico, gracias a sus propiedades.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Gutierrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hi Education.

[2] CFATA, L. d. (Marzo de 2020). *Laboratorio de Pruebas Mecánicas*. Obtenido de <http://www.fata.unam.mx>

[3] Perez Ana Roselyn (2017) *Mezcla: Poliestireno expandido y cascarón de huevo*. Misantla, Ver.: ITSM.

[4] Lira Cortés, L. (2017). *Necesidades de medición de conductividad térmica para el cumplimiento de normas de eficiencia energética en edificaciones*. México: Secretaría de economía.

[5] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones / Yunus A. Çengel y Afshin J. Ghajar (4a. ed.--)*. México D.F.: McGraw Hill.

[6] Pérez Ana Roselyn (2016) *Utilización del cascarón de huevo como elemento constitutivo*, *Ingeniantes Año 3 / No. 2 / Vol. 1*, <https://n9.cl/5ffe6>



# Calidad

y

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos y su aplicación en cultivo de maíz

**RESUMEN:** Debido a la necesidad de generar un cambio en el contexto de preservación del ambiente, de la materia orgánica y disminuir la utilización de fertilizantes químicos, surge la necesidad de producir biofertilizante. En este sentido se plantea la producción de un biofertilizante mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos generados de la ganadería y de materia prima de fácil acceso.

En la actualidad la preservación de suelos y la materia orgánica se ha vuelto un desafío, lo que ha llevado a replantear una mejor manera de llevar a cabo agricultura, utilizando la producción de un biofertilizante a partir de residuos orgánicos para aplicarlo en cultivos de maíz, aprovechando de esta manera las materias primas disponibles, contribuyendo así, al desarrollo de manera sostenible de los suelos del país.

El desarrollo de este proyecto tiene como base la investigación de comparación experimental en la aplicación del biofertilizante obtenido mediante la descomposición anaeróbica por aproximadamente 60 días, a plantas de maíz (*Zea mays*). Obteniéndose resultados que mejoran el crecimiento y desarrollo de las plantas hasta en un 30.27%, fortaleciéndola y haciéndola más gruesa, lo que puede llevar a tener mayores rendimientos en la cosecha.

A considerar el valor económico del biofertilizante, el productor lo estará desarrollando a un costo aproximado de \$10 el litro, cuando en el mercado algunos biofertilizantes comerciales se encuentran entre los \$130 y \$560. Considerando el precio más bajo, este biofertilizante le ofrece al productor una reducción de inversión en este elemento de hasta el 91.54%, lo que representa una alternativa viable para implementar en las parcelas para quienes actualmente están produciendo maíz.

## PALABRAS CLAVE:

Biol, Bioestimulante, agricultura alternativa, residuos orgánicos, Biodigestor



## Colaboración

Álvaro Chávez Galavíz, Lucía Torres Rueda, Adán Sánchez García, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlaxiahuatl

**ABSTRACT:** Due to the need to generate a change in the context of preserving the environment, organic matter and reducing the use of chemical fertilizers, the need to produce biofertilizer arises. In this sense, the production of a biofertilizer is proposed through the use of organic waste generated from livestock and easily accessible raw material.

At present, the preservation of soils and organic matter has become a challenge, which has led to rethinking a better way to carry out agriculture, using the production of a biofertilizer from organic waste to apply it to corn crops, thus taking advantage of the available raw materials, thus contributing to the sustainable development of the country's soils.

The development of this project is based on experimental comparison research in the application of the biofertilizer obtained by anaerobic decomposition for approximately 60 days, to corn plants (*Zea mays*). Obtaining results that improve the growth and development of the plants by up to 30.27%, strengthening it and making it thicker, which can lead to higher yields at harvest.

Considering the economic value of the biofertilizer, the producer will be developing it at an approximate cost of \$ 10 per liter, when on the market some commercial biofertilizers are between \$ 130 and \$ 560. Considering the lower price, this biofertilizer offers the producer a reduction of investment in this element of up to 91.54%, which represents a viable alternative to implement in the plots for those who are currently producing corn.

**KEYWORDS:** Biol, Biostimulant, Alternative Agriculture, Organic Waste, Biodigestor.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la concientización sobre el deterioro que está sufriendo el medio ambiente a causa de los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como una alternativa viable la aplicación de los biofertilizantes, ya que en la actualidad se usa entre los productores de plántulas en invernaderos y viveros, así como el incremento de microempresas productoras de abonos orgánicos que incluyen los biofertilizantes y la producción de estos insumos por los propios productores, que los introducen a un manejo más sustentable del suelo, estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y los animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas [1]

Actualmente uno de los desafíos más grandes en el contexto sustentabilidad, es preservar los suelos y la materia orgánica, esto nos lleva a plantearnos una vieja y mejor manera de realizar agricultura, de forma ecológica y por lo tanto sostenible utilizando recursos orgánicos disponibles de forma local [2] [3]

Debido a la situación global de la crisis ocurrida en los últimos años nos vemos en la necesidad de producir más alimentos y de mejor calidad [4]. Ante una situación de escasa dinámica productiva, surge la necesidad de los productores de incrementar la cantidad y calidad de sus cosechas. [5] Mediante la adecuada implementación y desarrollo de tecnologías de producción económicamente viables y con el cuidado adecuado del medio ambiente, sin olvidarnos de las unidades productivas de las familias de la región, es posible contribuir a su desarrollo [6]. Todo esto abarca la propuesta agroecológica que establece una agricultura alternativa basada en insumos cien por ciento naturales, como lo son los abonos orgánicos y claro está, el rescate de los saberes que por tradición son utilizados en nuestros campos [7] [8].

Una de estas alternativas es el uso de biofertilizantes (también conocido como biol), que por gran bondad bioestimulante ayuda en gran medida a mejorar el desarrollo y el crecimiento de la plantas, produciéndolo en una forma económica y sobre todo natural [9].

Se consideró como objetivo general de investigación la producción de un biofertilizante a partir de residuos orgánicos para aplicación sobre cultivos de maíz (*Zea mays*), con la finalidad de aprovechar la materia prima disponible en la región, acelerando el crecimiento de las plantas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para desarrollar el proyecto de producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos para aplicación sobre cultivos de maíz (*Zea mays*) tiene su marco metodológico de investigación, comparación experimental y producción. Esta investigación permitió determinar los procedimientos de manera adecuada, obtenidos mediante la investigación realizada en diferentes fuentes bibliográficas y experiencias de personas que de alguna manera lo han utilizado.

La fase de comparación experimental determinó los insumos y materiales que se utilizaron, teniendo como base la investigación.

### Requerimientos nutricionales del maíz

Una parte importante a considerar, son los requerimientos nutrimentales del maíz. La Tabla 1 indica los requerimientos nutricionales, promedio de distintas fuentes bibliográficas, para maíz, trigo, arroz, soja, girasol y alfalfa. Los requerimientos se expresan en términos de kg o g de nutrientes que deben ser absorbidos por el cultivo para producir una tonelada de grano o materia seca. Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían de acuerdo al nivel de producción y el ambiente, por lo que debe tenerse en cuenta que estos requerimientos son solamente orientativos ya que la bibliografía indica valores variables según la fuente consultada [10].

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del maíz.

Elemento		Requerimiento kg/ton grano
Nitrógeno	N	22
Fósforo	P	4
Potasio	K	19
Calcio	Ca	3
Magnesio	Mg	3
Azufre	S	4
Boro	B	20
Cloro	Cl	444
Cobre	Cu	13
Hierro	Fe	125
Manganeso	Mn	189
Molibdeno	Mo	1
Zinc	Zn	53

Fuente: adaptado de IPNI (2016).

### Materia prima disponible

Las materias primas consideradas son el excremento fresco, sustancias que aceleren la fermentación (como el pulque), restos de procesos lácteos (leche) u otros productos que enriquezcan de minerales al biofertilizante.

Para el caso del excremento se realizó el estudio de cantidad promedio de excremento que genera el ganado de algunos productores de la región. Como resultado se obtuvo que por cada 100 kg de su peso se

genera hasta 5.3 kg, obteniéndose un total por día 53 kg de estiércol (Tabla 1), cantidad suficiente para abastecer el sistema de producción propuesto.

Tabla 2. Producción de excremento en kg por 10 animales.

Lugar donde se acumula	Cantidad acumulada por día	Cantidad acumulada por año
Corral	16.5	6022.5
Alrededor del corral	36.5	13322.5
<b>TOTAL</b>	<b>53</b>	<b>19345</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el promedio total producido por día de estiércol fresco es de 53 kg por el conjunto de 10 animales, lo que refleja que al año se tendría un aprovechamiento de un poco más de 19 toneladas disponibles para ser utilizadas en la producción de biofertilizante.

Con respecto al resto de los insumos, se pueden obtener fácilmente en establecimientos o como desechos de procesos propios de actividades de la región.

### Puesta en marcha del biodigestor

El biodigestor de prueba tiene una capacidad de 200 l, del cual se obtendrán aproximadamente un 80% de biofertilizante, el resto es materia orgánica que puede ser utilizado como abono para la tierra. El abono obtenido se someterá a estudio en una segunda etapa para determinar la aportación de nutrientes el suelo.

Otro elemento que se puede obtener de este proceso es el bio-gas; el cual, por el momento no se está recolectando

### Preparación de suministros para el biofertilizante

Se llenará el biodigestor de prueba (200 litros) con insumos determinados para la producción del biofertilizante y posteriormente su extracción y envasado. Según el planteamiento, se requiere de los siguientes insumos y cantidades presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidad de insumos necesarios para biodigestor de prueba.

Materia prima	Cantidad	Unidades
Excremento fresco	40	Kilogramo
Levadura en pasta	1	Barra
Melaza	4	Kilogramo
Leche	4	Litro
Agua	160	Litro
Yakult	20	Pieza
Pulque	5	Litro
Ceniza	1	Kilogramo

Fuente: Elaboración propia.

La función que tiene cada ingrediente de la materia prima al biofertilizante se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Función de los diferentes ingredientes en la producción de biofertilizante.

Ingredientes	Función
Excremento fresco	Aporta los ingredientes vivos (microorganismos) para que la fermentación del biofertilizante ocurra. "Inóculos" o Semillas de levaduras, hongos, protozoos y bacterias; los cuales son directamente los responsables de digerir, metabolizar y colocar de forma disponible para las plantas y el suelo todos los elementos nutritivos que se encuentran en el caldo vivo que se está fermentando en el tanque.
Levadura en pasta	Se utiliza como inoculante biológico fúngico que permite incrementar la actividad microbiológica para obtener la descomposición de la materia orgánica a mayor velocidad.
Melaza	Aporta la energía necesaria para activar el metabolismo microbiológico. Aporta otros componentes en menor escala como: Calcio, Potasio, Fósforo, Boro, Hierro, Azufre, Manganeseo, Zinc y Magnesio.
Leche	Reaviva el preparado Aporta proteínas, vitaminas, grasa y aminoácidos para la formación de otros compuestos orgánicos que se generan durante el periodo de la fermentación del biofertilizante.
Agua	Facilita el medio líquido donde se multiplican todas las reacciones bioenergéticas y químicas de la fermentación anaeróbica del biofertilizantes.
Yakult	Aporta bacterias <i>Lactobacillus</i> que permiten la fermentación de la leche agregada en la preparación.
Pulque	Aportan microorganismos pertenecientes a los géneros <i>Lactobacillus</i> y <i>Leuconostoc</i> , así como levadura del género <i>Saccharomyces</i> con una alta actividad de fermentación.
Ceniza	Proporciona minerales y elementos trazas al biofertilizante para activar y enriquecer la fermentación. Dependiendo del origen de la misma y en la falta de las sales minerales, esta puede llegar a sustituirlas, (las mejores cenizas para hacer los biopreparados son las que se originan a partir de las gramíneas, ejemplo: cascarilla de arroz, caña y maíz).

Fuente: Elaboración propia

## Instalación del biodigestor de prueba

Considerando la disponibilidad de los materiales y de la materia prima para el propósito del proyecto, se preparó un biodigestor con una capacidad aproximada de 180 litros. Dicho biodigestor consta de un tambo de plástico de 200 litros con tapadera. La salida del gas que se genera, se controla con una manguera conectada en la tapadera hacia un recipiente con agua colocado a un costado del tambo con la finalidad de no permitir el paso del oxígeno hacia el interior (ver Figura 1 y 2).



Figura 1 y 2. Preparación de la mezcla

Una vez que se tiene toda la materia prima se lleva a cabo el siguiente proceso:

1. Toda la materia prima se integra en el tambo de 200 litros hasta obtener una mezcla homogénea
2. Se tapa el bote y se sella para no permitir la entrada de oxígeno. La tapa se perfora para colocar una manguera que servirá como dosificador del gas que se produce durante el proceso de descomposición, procurando colocar el extremo de la manguera en un recipiente con agua de manera que no exista acceso de oxígeno al contenedor, ya que el proceso es estrictamente anaerobio.
3. Una vez que se cumple el proceso de descomposición anaeróbica se vacía el contenido para colar y almacenar el biofertilizante en envases (preferentemente opacos), para su utilización.

## Prueba de aplicación del biofertilizante sobre cultivos de maíz en una parcela

Se llevó a cabo la prueba de efectividad del biofertilizante sobre la productividad de los cultivos de ciclo corto. Específicamente, la especie considerada es el maíz (*Zea mays*) que fue plantado en tres parcelas de prueba con las siguientes características:

Suelo de textura franco arcilloso, pH de 5,7 y contenido de materia orgánica de 2,4%. Las principales condiciones agro-climatológicas influyentes, sobre los resultados son el clima de con temperaturas entre 15°C y 24°C, precipitación de entre 1200 ppm y 3200 ppm anual y la humedad de 80%.

Esta constituido de tres parcelas experimentales de 5 mts. de ancho y 15 mts., de largo cada una de ellas, sometidas a diferentes tratamientos (K) que fueron seleccionados al azar. Las dosis de aplicación de biofertilizante para cada tratamiento son diferentes, el primero (KI) en 10%, el segundo (KII) en 5% y el tercero (K) se establece como testigo. Los porcentajes de dosis representan a la mezcla total con agua para la aplicación (20 litros).

Tabla 5. Dosis de aplicación del biofertilizante en los diferentes tratamientos

Dosis de biofertilizante	Dosis de biofertilizante por cada aplicación	Litros de biofertilizante durante el experimento
K – Testigo	–	–
KI – al 10%	2 L por 20 de agua	25.5
KII – al 5%	1 L por 20 de agua	12
<b>TOTAL</b>	<b>3 L por 40 de agua</b>	<b>37.5</b>

Fuente: Elaboración propia

Las parcelas en las que se realizó la prueba contienen 330 plantas cada una, colocadas a una distancia de 27 cm entre ellas en cada surco. La distancia entre surco y surco fue de 80 cm.

Durante el proceso de crecimiento de la planta se llevaron a cabo cinco (entre semana) aplicaciones del biofertilizante en diferentes etapas de crecimiento, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 6. Numero de aplicaciones del biofertilizante sobre el cultivo

Numero de aplicación	Etapas de crecimiento de la planta
1	A la 1er semana de la siembra
2	A la 2da semana de la siembra
3	A las 3er semana de la siembra
4	A la 4ta semana de la siembra
5	Durante la floración (aproximadamente en la semana 8)

Fuente: Elaboración propia

Fueron consideradas estas aplicaciones, debido a la información proporcionadas por productores entrevistados.

La aplicación del biofertilizante a las plantas fue foliar, por lo que se utilizó una mochila de aspersión. Se llevó a cabo un registro de crecimiento y desarrollo de las plantas, tal registro se tomó cada inicio

de semana considerando las variables establecidas para determinar el efecto que tenía el biofertilizante sobre el crecimiento de las plantas.

Tabla 7. Frecuencia de registro de las variables medidas

VARIABLE	FRECUENCIA DE REGISTRO
Altura de la planta	Semanal
Diámetro del tallo	Semanal
Ancho de la hoja más desarrollada	Semanal

Fuente: Elaboración propia

### Recursos utilizados

Los recursos que se utilizaron para el desarrollo de esta primer etapa del proyecto fueron los humanos y económicos.

- Los recurso humanos fueron los encargados de llevar a cabo todas las actividades programadas, dichos recursos están conformados por estudiantes de las carreras de Ingeniería en innovación Agrícola Sustentable y Contador Público
- Los recursos económicos fueron necesarios para cubrir los gastos de adquisición de los materiales, herramientas y materia prima utilizados en el desarrollo del proyecto.

Los costos para la implementación del biodigestor de prueba se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Costo para la implementación del biodigestor de prueba y producción de biofertilizante

	DESCRIPCIÓN	COSTO
<b>Materiales</b>	Tambo de plástico del 200 L	\$ 460.00
	Manguera de ¼ pulg	\$ 3.00
	Plastiloca	\$ 20.00
	Cinta adhesiva de goma natural - PVC	\$ 59.00
<b>Materia prima</b>	Levadura	\$ 60.00
	Melaza	\$ 25.00
	Leche	\$ 40.00
	Yakult	\$ 100.00
	Pulque	\$ 40.00
<b>Mano de obra</b>	Recolección, traslado e integración de materia prima	\$ 240.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 1047.00</b>

Fuente: Elaboración propia

### Cronograma de actividades

Las actividades para la primer fase del proyecto

(Crecimiento de la planta) requirió de aproximadamente once meses para su desarrollo, dichas actividades se presentan en el siguiente cronograma.

La programación de las actividades responde a los lapsos de tiempo requerido para cada una de las fases del proyecto, lo cual está fijado por meses. (Ver Anexo A)

## RESULTADOS

### Producción del biofertilizante

El biodigestor de prueba inicia su funcionamiento con la mezcla de los insumos al interior, donde el proceso de biodigestión al interior se inicia y tuvo una duración de 60 días. De esta manera se produjeron 160 litros de biofertilizante.

### Efecto del biofertilizante sobre la planta de maíz

Los resultados obtenidos de la aplicación del biofertilizante sobre el cultivo de maíz en la parcela de prueba se pueden observar en la siguiente información:

Tabla 9. Medida de la altura de la planta de maíz (cm)

Aplicación	Tratamiento		
	K	KI	KII
A la 1er semana	7.5	11.5	15
A la 2da semana	34	37	40.5
A la 3er semana	54.7	55	59
A la 4ta semana	79	86.5	87.3
A la 5ta semana	99.6	126.7	109.7

Fuente: Elaboración propia

Considerando la altura de las planta al final del experimento, se puede observar que el tratamiento KI presenta un 27.21% más con respecto a K (testigo).

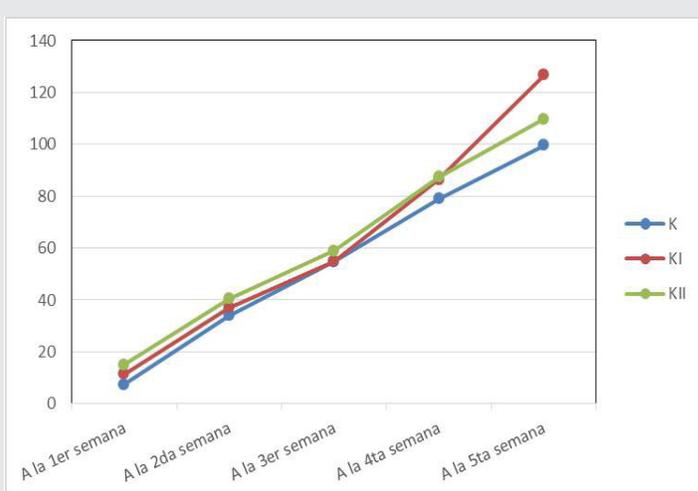


Figura 3. Comportamiento del crecimiento (cm) de la planta de maíz con los tres tratamientos

Tabla 10. Medida del diámetro de la planta de maíz (mm)

Aplicación	K	KI	KII
A la 1er semana	3.1	2.9	4.1
A la 3er semana	4.9	7.1	8.1
A la 4er semana	7.8	12.4	9.5
A la 5ta semana	9.6	15.9	9.9

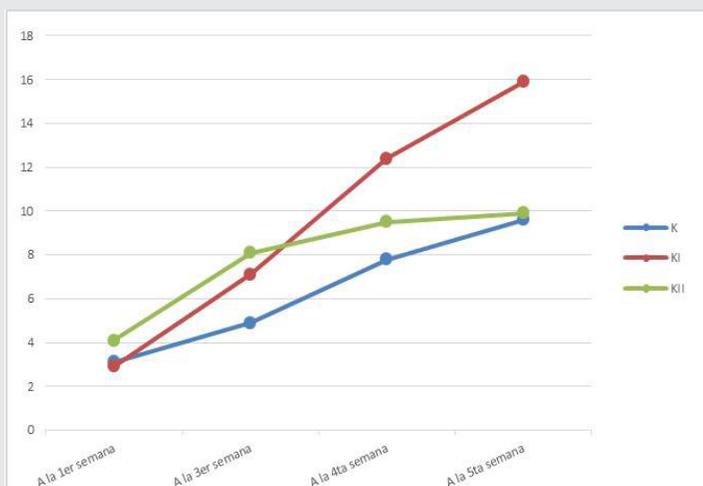


Figura 4. Comportamiento del diámetro (mm) de la planta de maíz con los tres tratamientos

Tabla 11. Medida del ancho de la hoja (cm)

Aplicación	K	KI	KII
A la 1er semana	1.5	1.3	1.5
A la 3er semana	3.1	3.8	3.3
A la 4er semana	3.9	4.8	4.3
A la 5ta semana	5.1	6.3	5.6

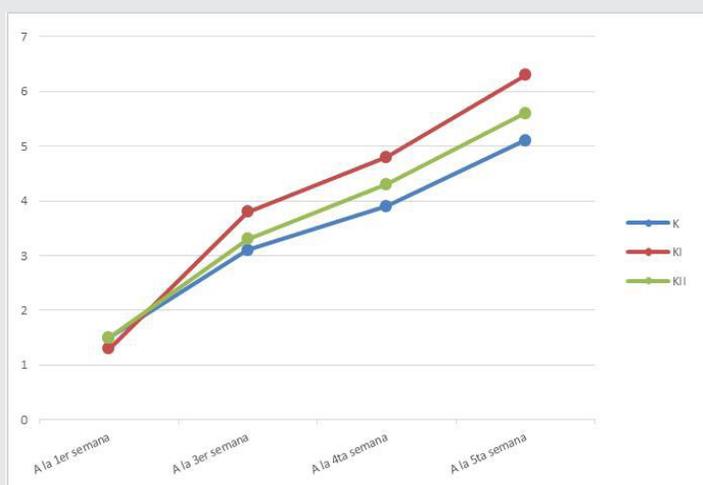


Figura 5. Comportamiento del ancho de la hoja (cm) de la planta de maíz con los tres tratamientos

Con respecto al diámetro de la planta al final del experimento, se puede observar que el tratamiento KI presenta un 65.63% más con respecto a K (testigo).

En cuanto al ancho de la hoja de la planta al final del experimento, se puede observar que el tratamiento KI presenta un 23.53% más con respecto a K (testigo).

## CONCLUSIONES

Como se puede observar la aplicación de una concentración al 10% (KI) de biofertilizante en la planta al final, alcanza en promedio un crecimiento 30.27% mayor con respecto del testigo (K), fortaleciéndola y haciéndola más gruesa. Lo cual nos puede llevar a tener mejores rendimientos en la cosecha.

La producción de este biofertilizante proporciona una forma de aportar nutrientes a las plantas (en este caso se toma en cuenta el maíz), siendo parte de una generación; que aunque no es nueva, es una forma rentable para la producción agroalimentaria, basándose en técnicas antiguas y en donde se generan elementos de tecnologías ambientalmente adecuadas; ya que aportan elementos que apoyan a la reestructuración del agroecosistema.

Este biofertilizante da respuesta a las condiciones productivas de diferentes regiones del país en materia de disponibilidad de materia prima y de la creciente demanda de fertilizantes orgánicos.

Se debe de tomar en cuenta que en este estudio solamente se está considerando el aprovechamiento del biofertilizante; sin embargo, el proceso de biodigestión de la materia orgánica, también se produce gas que se puede en algún momento captar para su aprovechamiento, al igual que la generación de un porcentaje considerable de abono orgánico, elemento que se aprovecha para la preparación del suelo en el cultivo.

Como se pudo observar este biofertilizante al aplicarse al cultivo (maíz) nos muestra que puede representar un elemento de fácil aplicación y producción, sobre todo aportando al nutrientes a las plantas para una mejora en su crecimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Se expresa un especial agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec, por su apoyo al desarrollo de esta investigación, y de igual manera se agradece a los productores locales por las experiencias transmitidas y que sin duda fueron el pilar de dicha investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Fundación Produce Sinaloa. 2006. Memoria Agricultura orgánica. Memorias del Curso Eco

Agro de Agricultura Orgánica. Fundación produce Sinaloa. Guamúchil, Sinaloa, México. pp. 7-9.

[2] Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36

[3] Quirós, E., D. Meneses, C. Cervantes y L. Urbina. 1998. Abonos verdes: una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo

[4] Wong, J. A., & Figueroa Viramontes, U. (9 de 8 de 2012). IMPACTO AMBIENTAL DE LA FERTILIZACIÓN. Obtenido de IMPACTO AMBIENTAL DE LA FERTILIZACIÓN: [http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/file/seminario\\_fertilizacion/presentaciones\\_9agosto/dia1\\_presentacion1\\_jose\\_cueto.pdf](http://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/file/seminario_fertilizacion/presentaciones_9agosto/dia1_presentacion1_jose_cueto.pdf)

[5] Sarmiento, L. C. (s.f.). Los Fertilizantes y su Efecto Ambiental. Obtenido de Los Fertilizantes y su Efecto Ambiental: <http://www.angelfire.com/al2/carlos3/fertilizantenov21nestic.html>.

[6] Jiménez, G. (24 de 10 de 2012). Agricultura convencional y agricultura sustentable. *El Siglo de Correon*,

[7] Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, CR

[8] Soto, M. G. 2003. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. En: *Abonos orgánicos: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura*. Ed Meléndez, G. San José, Costa Rica

[9] Cervantes M., J. E. 2004. Resultados preliminares de la Evaluación de Biofertilizantes en Maíz QPM. En: *Memoria del Simposio “La Biofertilización como Tecnología Sostenible*. Díaz F., A., N., Mayek P., A. Mendoza H. y N. Maldonado M. (eds.). INIFAP. 25 de noviembre de 2004. Tamaulipas, México.

[10] International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2016. Archivo agronómico N° 3, Requerimientos nutricionales de los cultivos. En: *International plant nutrition institute*, [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB-666503257967007DD076/\\$FILE/AA%203.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B4CDA48FABB-666503257967007DD076/$FILE/AA%203.pdf)

Anexo A. Cronograma de actividades

Actividades	Meses										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ubicación del sitio y localización del lugar para las materias primas	x										
Adquisición de las materias primas	x										
Preparación y puesta en marcha del biodigestor		x									
Extracción, colado y envasado del biofertilizante				x							
Ubicación y preparación de la parcela para las pruebas				x							
Adquisición de las semillas				x							
Siembra del maíz en la parcela					x						
Aplicación del biofertilizante en los cultivos						x	x	x			
Cosecha de los cultivos y su evaluación										x	x



# Calidad

*y*

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Análisis de variables fisicoquímicas y nitrógeno en suelos del estado de Hidalgo



## Colaboración

Luis Felipe Juárez Santillán; Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora; Rosa Icela Beltrán Hernández; Carlos Alexander Lucho Constantino, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Georgina Martínez Reséndiz; Juan José Balderas Pérez, Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora

**RESUMEN:** La evaluación de lixiviación de nitrógeno en suelos, es de importancia, para poder analizar la posible contaminación de cuerpos de agua y por lo tanto denotar malas prácticas agrícolas poco sustentables y amigables con el medio ambiente. Los objetivos de este trabajo, fueron evaluar la lixiviación de nitrógeno, así como la variación de las variables fisicoquímicas, con el fin de determinar el estado actual del suelo en diferentes profundidades (0-90 cm); además, realizar un análisis de ANOVA, prueba de Tukey y correlación de Pearson, para conocer las principales interacciones entre las variables analizadas, y ver su diferencia estadística. Los principales resultados indican que la capa arable está sufriendo un deterioro, ya que los mayores contenidos de arcilla, nitrógeno, sales y fósforo tienden a aparecer en profundidades superiores de 30 cm; siendo esto un problema si llegan a manto freático, ya que pueden causar contaminación de este compartimento ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** correlación, nitrógeno, variables fisicoquímicas, nitratos, amonio y suelo.

**ABSTRACT:** The evaluation of nitrogen leaching in soils is important, in order to evaluate the possible contamination of bodies of water and therefore denote poor agricultural practices that are not very sustainable and are friendly to the environment. The objectives were to evaluate the nitrogen leaching, as well as the variation of the physicochemical variables of the soil in different depths (0-90 cm); In addition, perform an ANOVA analysis, Tukey test and Pearson correlation, to see the main interactions between the analyzed variables, as well as their statistical difference. The main results indicate that the arable layer is suffering deterioration, since the highest clay, nitrogen, salts and phosphorus contents tend to appear at depths greater than 30 cm; these being a problem if they reach the groundwater, causing contamination of this environmental compartment.

**KEYWORDS:** correlation, nitrogen, physicochemical variables, nitrates, ammonium and soil.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de los suelos por metales pesados y el aumento en el contenido de nitrógeno (N) en estos ha incrementado considerablemente, debido al empleo intensivo de agroquímicos y riego con aguas residuales [1 y 2]. Esta problemática ocurre en zonas agrícolas cercanas a las grandes urbes, donde el volumen de agua residual industrial y municipal cada vez es mayor.

El riego con agua residual, también impacta de forma positiva en los suelos, incrementando fertilidad, la cual se asocia con la humedad) [3, 4]; el riego intensifica las actividades micro y macro-

biológicas, la materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) [5, 6 y 7].

El empleo de agua residual se debe a la escasez de este recurso y del incremento en la demanda de alimentos. Los principales efectos del agua residual es el aumento excesivo de algunos nutrientes en el suelo y conjugado con un riego intensivo, propicia lixiviación de estos, afectando a cuerpos de agua [8, 9 y 10].

El Valle del Mezquital está ubicado al norte de la Zona metropolitana en una altitud entre 1700 a 2100 metros sobre el nivel del mar (msnm) [11]. Por más de cincuenta años, el agua residual del Valle de México, llega al Valle del Mezquital; ésta es empleada para riego de los campos agrícolas, en la cual se han detectado la presencia de coliformes fecales ( $0-2 \text{ NMP} \cdot 100\text{mL}^{-1}$ ), nitratos ( $10 \text{ mgNO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ ), nitrógeno amoniacal ( $0.5 \text{ mg NH}_4^+ \cdot \text{L}^{-1}$ ), mercurio ( $0.001 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), plomo ( $0.025 \text{ mg L}^{-1}$ ), sodio ( $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y sólidos totales disueltos ( $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) [13 y 14]. Es muy probable que la calidad de este tipo de agua esté causando efectos negativos en las variables fisicoquímicas del suelo y en la lixiviación de nitrógeno [15].

Este estudio se realizó en Santa María Amajac, Estado de Hidalgo, dicha comunidad pertenece al Valle del Mezquital. El objetivo fue evaluar variables fisicoquímicas en diferentes profundidades del suelo (0-90 cm), así como la lixiviación de N; además, realizar análisis estadísticos (ANOVA, prueba de Tukey y correlación de Pearson), para conocer las interacciones entre las variables analizadas y su diferencia estadística. Las variables analizadas fueron: materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica en el extracto de saturación ( $\text{CE}_s$ ), capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura, cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fósforo ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) y el contenido de N inorgánico ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), los resultados se espera que den un panorama de la lixiviación de N, el cual pueda estar impactando a mantos freáticos, el análisis estadístico permitirá inferir el posible impacto que esté sufriendo el suelo; con lo cual se podrán proponer estrategias que ayuden a una agricultura sustentable en esta región.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de suelo se recolectaron en Santa María Amajac, Hidalgo, en una parcela de una superficie de una hectárea (12 puntos de muestreo); en este lugar se utiliza agua residual proveniente de la Ciudad de México por más 30 años. La comunidad se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: longitud norte  $20^\circ 19' 26''$ , longitud oeste  $98^\circ 44' 35''$  y 1680 msnm.

De cada profundidad (0-30, 30-60 y 60-90 cm; imagen 1, 2 y 3), se recolectaron 12 muestras simples, se mezclaron perfectamente para obtener una muestra compuesta por el método del cuarteo [16] (Imagen 4). Las muestras fueron obtenidas con un barreno de material de acero al carbono.



Figura 1. Muestra de 0-30 cm de profundidad  
Elaboración propia.



Figura 2. Muestra de 30-60 cm de profundidad  
Elaboración propia.

Las muestras fueron guardadas en bolsas de polietileno de dos kilos; luego secadas a temperatura ambiente, posteriormente se tamizaron con la ayuda de un tamiz con malla de 2 mm de diámetro (certificado NIST, tamiz de Fisher Scientific Company).



Figura 3. Muestra de 30-60 cm de profundidad



Figura 4. Muestra compuesta

Conforme a la NOM-021 [16], se analizó: MO, pH,  $CE_s$ , CIC, textura,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $P-PO_4^{3-}$ . Se determinó el contenido de N inorgánico ( $NO_3^-$  y  $NH_4^+$ ), conforme a los métodos reportados por Yúfera y Carrasco [17].

Se realizó un análisis estadístico de ANOVA de un factor, prueba de Tukey y Correlación de Pearson con el programa estadístico SPSS versión 25.

## RESULTADOS

Los valores de las propiedades fisicoquímicas se muestran en el ANEXO 1.

### pH de los suelos

El pH varió entre 7.14 a 8.85 (Tabla 1, ANEXO 1). Boul-

ding [18] y la NOM-021 [16] consideran a estos valores como neutros, ligeramente alcalinos a fuertemente alcalinos, los valores son cercanos a los que Flores [19], reportaron para suelos del DR03 (valores entre 7.86 a 8.70). Esto indica que el pH se ha mantenido constante. El pH en los cinco muestreos fue variable, pero nunca salió del intervalo de alcalinidad. Durante el segundo muestreo se presentó una disminución de pH. Seoáñez [20], mencionan que la acidez de un suelo puede deberse al arrastre o lavado de sales y como consecuencia, entre otros factores de vertidos de aguas residuales industriales o de cualquier otro tipo de vertido y por la siembra de un solo cultivo.

### Conductividad Eléctrica, Sulfatos y Cloruros

La  $CE_s$  varió entre 0.63 y 2.33  $dS \cdot m^{-1}$ , clasificándose como suelo no salino y ligeramente salino. Los valores elevados de  $CE_s$  los presentó la capa arable (0-30 cm), con base en la clasificación de la NOM-021 [16] y Boulding [18], se pueden considerar que no presenta problemas de salinidad.

Los valores de cloruros (21.70 a 236.52  $mg \cdot kg^{-1}$ ) y sulfatos (0.12 a 10.86  $mg \cdot kg^{-1}$ ), a lo largo de las profundidades indican que el suelo presenta lixiviación de estos iones. Los  $SO_4^{2-}$  y  $Cl^-$  propician la salinidad en suelos y estrés hídrico en plantas, ya que sus sales correspondientes tienen alta solubilidad [21].

### Capacidad de Intercambio Catiónico

La CIC varió entre 20.81 a 48.71 ( $cmol (+) \cdot kg^{-1}$ ), clasificándose como media a muy alta con base en la NOM-021 [16]. Estos valores concuerdan con los reportados por García-Rocha [22], Juárez-Santillán [23] y Lucho-Constantino [24].

La CIC es importante desde el punto de vista de fertilidad, debido a que esta les permite a los suelos poder almacenar cationes necesarios para la nutrición de las plantas. Al mismo tiempo, los suelos con altas CIC, pueden retener cationes metálicos e intercambiarlos con la solución del suelo, de donde pueden ser absorbidos por las plantas.

### Materia Orgánica

Los porcentajes de MO (0.38-4.84%) para este suelo se clasifican de bajos a altos con base en la NOM-SEMARNAT-021, el contenido de MO en el suelo disminuye conforme incrementa la profundidad. En este sentido el agua residual con la que es regado este suelo, resulta una buena fuente de MO [25].

### Textura

Por los valores de arena, limo y arcilla este suelo es clasificado como franco con base en la clasificación de Boulding, [18] y la NOM-021, [16], concuerda con lo reportado por García-Rocha, [22] y Lucho-Constantino [24].

En el suelo estudiado se observó una tendencia a incrementar el contenido de arcilla conforme incrementa la profundidad del suelo, lo que indica que no sólo se están lixiviando nutrientes sino también este mineral, lo cual representa una pérdida de estructura en la capa arable, ya que las arcillas son las partículas de importancia para la retención de nutrientes y humedad.

## Fósforo

Las concentraciones de  $P-PO_4^{3-}$  en el suelo varían entre 21.53 a 270.32  $mg \cdot kg^{-1}$ , estos valores se clasifican como altos, lo cual es benéfico para la nutrición de las plantas, ya que el P es de los macronutrientes primarios. Es muy probable que los contenidos de Al, Ca y Fe sean bajos o en todo caso no estén disponibles, debido al elevado contenido de P y al pH alcalino [20].

El contenido de P encontrado (27.19-164.11  $mg \cdot kg^{-1}$ ) a la profundidad de 60-90 cm es alto, por lo que este nutriente puede llegar a manto freático. Los valores concuerdan con lo reportado por Souza [26] y Musazura [27], ya que mencionan que la lixiviación se puede dar por la desorción del P de los coloides del suelo, además de la competencia de este elemento con el citrato por los sitios de sorción.

## Nitrógeno en el suelo

El nitrógeno del suelo se encuentra en la materia orgánica, fijado de modo estable en la red de los silicatos, como ion  $NH_4^+$  y  $NO_3^-$ . El N asimilado por las plantas es, principalmente el inorgánico como  $NO_3^-$  [17]. En este estudio las concentraciones tanto de  $NO_3^-$  y  $NH_4^+$  encontrados en el suelo fueron superiores a los reportados por Juárez-Santillán [23] y García-Rocha [22].

Las altas concentraciones encontradas de  $NH_4^+$  en el segundo y cuarto muestreo (Tabla 2) a profundidades superiores de 30 cm, es porque este pudo haber sido desplazado de los sitios de intercambio de la capa superior del suelo por los cationes de mayor carga ( $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ), porque tienen mayor preferencia a ser adsorbidos en la red de intercambio, no obstante las concentraciones encontradas de 0-30 y de 30-60 son altas, debido a la entrada constante de nitrógeno por el agua y por la fijación del mismo, así como, por la retención en la red de intercambio; Musazura [10], realizaron una dinámica del N y P en suelos fertilizados y regados con efluente tratado, encontrando resultados similares de estos nutrientes, siendo la profundidad de 0-30 y de 60-90 cm la de mayor concentración; comportamiento similar encontraron Musazura [27], en la profundidad de 0-30, argumentando que podría atribuirse a la baja conductividad hidráulica del suelo permitiendo que los nutrientes se acumulen en las capas superiores, no obstante en este estudio hay presencia notoria de N en la profundidad superior de 30 cm.

El contenido de  $NO_3^-$  y  $NH_4^+$  en la profundidad de 60-90 cm en algunos casos son mayores, resultados cohe-

rentes con los reportados por De Notaris [28], informaron que la lixiviación de N aumentó con el incremento del excedente adicionado, ya sea por fertilizantes u otra fuente; además, que en regiones con clima frío y húmedo, las pérdidas de N vía desnitrificación es restringida por la baja actividad microbiana del suelo, drenado alto y elevada precipitación, mencionan que el excedente de N puede conducir a pérdidas por lixiviación. Esta lixiviación, puede ser explicada debido a que los  $NO_3^-$  no son retenidos en las posiciones de intercambio iónico del suelo, ya que tiene carga negativa.

Tabla 1 Concentración de  $NO_3^-$  y  $NH_4^+$

Profundidad	$NO_3^-$	$NH_4^+$
	$mg \cdot kg^{-1}$	
<b>30-1</b>	28.37±0.77	37.54±0.65
<b>30-2</b>	53.74±2.65	147.45±1.70
<b>30-3</b>	9.28±0.21	4.58±0.15
<b>30-4</b>	44.24±1.51	126.33±1.90
<b>30-5</b>	25.03±2.27	145.60±1.04
<b>60-1</b>	22.74±0.17	6.74±0.08
<b>60-2</b>	44.43±4.10	124.55±0.90
<b>60-3</b>	28.32±1.86	126.78±3.25
<b>60-4</b>	11.44±1.31	27.31±1.59
<b>60-5</b>	54.07±3.21	159.08±9.07
<b>90-1</b>	48.30±1.26	184.12±2.78
<b>90-2</b>	15.47±0.15	23.79±2.07
<b>90-3</b>	53.30±1.86	169.32±4.53
<b>90-4</b>	14.65±0.14	9.08±0.35
<b>90-5</b>	41.35±0.16	123.57±0.78

30, 60, 90 cm = profundidad del suelo; 1, 2, 3, 4 y 5 = número de muestreo

## Análisis de ANOVA

En la primera etapa de La ANOVA se comprueba si hay significancia con las medias. Para este estudio el nivel de significación ( $p$ ) empleado fue de 0.05( $\alpha$ ). Si no hay significancia, un análisis posterior es innecesario. De acuerdo con González [29], se procede a reportar la no significancia e indicar que no hay evidencia para concluir que los tratamientos ensayados provocan diferencia en el promedio observado para la variable de interés. Para poder interpretar mejor los resultados se basa en lo siguiente [29]:

Si  $p \leq \alpha$ : Las diferencias entre alguna de las medias son estadísticamente significativas; se puede concluir que no todas las medias de población son iguales.

Valor  $p > \alpha$ : Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas; se puede concluir que las medias de población no varían.

Los valores  $p$  (tabla 3), indican que las medias de las variables fisicoquímicas sí difieren significativamente,

debió a que  $p$  es menor a  $\alpha$  (0.05). Los valores más pequeños de  $p$  ( $p = 1.51E-38$ ) los presenta la concentración de  $\text{NH}_4^+$ , lo que indica que las medias de este parámetro presentan mayores diferencias significativas entre los muestreos y profundidades de suelo.

Tabla 2. Valores de  $p$

Variable	$p$
pH	1.82E-09
CIC	4.42E-06
CE	2.76E-21
$\text{Cl}^-$	2.67E-28
$\text{SO}_4^{2-}$	1.68E-30
$\text{P-PO}_4^{3-}$	5.39E-24
MO	1.28E-18
Arcilla	2.78E-08
Limo	3.83E-06
Arena	8.37E-08
$\text{NO}_3^-$	1.72E-26
$\text{NH}_4^+$	1.51E-38

$F$  = Estadístico de contraste,

$p$  = Valor de significación,

$\text{Cl}^-$  = Cloruros,

$\text{NH}_4^+$  = Sulfatos,

$P$  = Fósforo,

CIC = Capacidad de intercambio catiónico,

CEs = Conductividad eléctrica en el extracto de saturación,

MO = Materia orgánica

### Prueba de Tukey

La prueba de Tukey permite hacer todas las comparaciones de tratamientos de dos en dos, y por eso se considera de la más completa; hace agrupaciones de medias que no difieren significativamente y las separa de las que sí [29].

En la Tabla 4 (Anexo 2), se observan los grupos que se formaron en cada columna, a mayor número de letras con base en orden alfabético, más grupos y por lo tanto más diferencias significativas. Se observa que las medias que presentan mayor similitud y en las que se puede decir que no hay tanta diferencia significativa es la arena y limo; seguidos de CIC, arcilla y CE, las variables restantes presentan mayor diferencia significativa. Se observa que el  $\text{NH}_4^+$ , fue el que presentó la mayor diferencia significativa de sus medias a lo largo de la profundidad y el muestreo; las variables que también presentaron diferencia significativa marcada están pH,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , P y MO; Las restantes se agrupan con letras similares. La mayoría de los valores más altos de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , P y MO están en la profundidad de 30-60 cm; en cuanto a pH, CIC, limo y arena, se encuentran en la profundidad de 0-30 cm; finalmente en cuanto a arcilla,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , los datos más elevados están en la profundidad de 60-90 cm.

De forma general podemos denotar una pérdida de suelo en la capa arable, con alcalinización de la misma; además de poder observar un lavado de sales y una lixiviación importante de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , los cuales pueden llegar a mato freático, lo que podría generar cierta eutrofización en este compartimento ambiental.

### Correlación de Pearson

La correlación lineal es un caso particular en el que tal correspondencia tiene características bien definidas y que suele medirse mediante el coeficiente R de Pearson [30 y 31]. Las principales correlaciones con nivel de 0.01 y 0.05 de significancia se presentan en la tabla 5 (Anexo 3). El pH presenta correlaciones negativas con  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , puede explicarse porque el ion hidronio, puede quedar retenido por las arcillas y la materia orgánica, mientras que los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , quedan expuestos para ser lixiviados. La CIC presenta una correlación negativa con los  $\text{SO}_4^{2-}$  y positiva con la MO, la primera es explicada porque la CIC es para cationes, mientras que la presencia de MO favorece la CIC. La correlación positiva entre CE y  $\text{Cl}^-$ , se debe a la relación directa que tienen estos dos parámetros.

La correlación de los  $\text{Cl}^-$  con  $\text{SO}_4^{2-}$  y limo, se debe a que tanto el  $\text{Cl}^-$  como el  $\text{SO}_4^{2-}$ , pueden tener comportamiento similar por la presencia de cargas negativas. Las correlaciones negativas que presenta el  $\text{SO}_4^{2-}$  con la MO y la arcillas, es por las fuerzas electrostáticas repulsivas que existen entre ellas; la correlación positiva que presenta el P con la MO, se debe a que al momento de ser degradada la MO, puede liberarlo; mientras que la correlación negativa entre el P y el  $\text{NO}_3^-$ , se explica por las repulsiones electrostáticas entre ellos, además que el P precipitado fácilmente. La correlación negativa que presentan la MO y Limo, es porque en el limo la MO tiene un ritmo elevado de descomposición. Las correlaciones negativas entre el limo, arcilla y arena, se explican, ya que son partículas que están en constante cambio por su naturaleza estructural con la formación del suelo; la correlación positiva que presenta el  $\text{NH}_4^+$  con el  $\text{NO}_3^-$ , es explicado por el proceso de nitrificación, conforme incrementa la concentración de  $\text{NH}_4^+$  favorece al incremento de la concentración de  $\text{NO}_3^-$ , por dicho proceso.

### CONCLUSIONES

Las concentraciones de N en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  encontradas en la profundidad de 60-90 cm son importantes, por lo que representan un riesgo de contaminación si llegan a manto freático.

Los diferentes análisis estadísticos, permiten observar una degradación de la capa arable, lo que ha propiciado que exista lixiviación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ .

Los resultados indican que la capa arable está sufriendo un deterioro, por lo que se recomienda hacer uso de fertilizantes orgánicos, los cuales favorezcan la re-

generación de dicha capa, esto permitirá ir mitigando problemas de salinidad. Se recomienda hacer un plan de riego, para esto es importantes no hacerlo por inundación como se hace actualmente.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. J. V. Tamariz, "Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlixco, Puebla". Tesis de Maestría en Edafología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 1996.
- [2] G., T. Méndez, A. R. Flores y S. Palacios, "Disponibilidad de Cd, Fe, Mn y Pb en suelos agrícolas de Tecamachalco, Estado de Puebla". En: Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. 1997.
- [3] D. Baldock, H. Caraveli, J. Dwyer, S. Einschutz, J. E. Petersen, J. Sumpsi-Vinas y C. Varela-Ortega, "The Environmental Impacts of Irrigation in the European Union". Institute for European Environmental Policy: London, UK. 2000.
- [4] E. O. Oriola, "Effects of irrigation on soils of a sub-humid part of Kwara state, Nigeria". Centrepoint (Science Edition), vol. 12, pp. 52-62. 2003.
- [5] P. Schjonning, S. Elmholt y B. T. Christensen. "Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture". Soil Quality Management -Concepts and Terms. CABI: Wallingford, UK and Cambridge, USA. 2004.
- [6] Yu. N. Nikolskii, I. P. Aidarov, C. Landeros-Sánchez y V. V. Pcholkina, "Impact of long-term freshwater irrigation on soil fertility". Irrig. and Drain. pp. 1-9. 2019.
- [7] M. A. Mojid, A. B. M. z. Hossain, y G. C. L. Wyseure, "Impacts of Municipal Wastewater on Basic Soil Properties as Evaluated by Soil Column Leaching Experiment in Laboratory". Journal of Soil Science and Plant Nutrition, vol. 19, pp. 402-412. 2019.
- [8] I. B. Bame, J. C. Hughes, L. W. Titshall, y C. A. Buckley, "The effect of irrigation with anaerobic baffled reactor effluent on nutrient availability, soil properties and maize growth". Agriculture Water Management, vol. 134, pp. 50-59. 2014.
- [9] Z. M. Ogbazghi, E. H. Tesfamariam, y J. G. Anandale, "Modelling N mineralization from sludge-amended soils across agro-ecological zones: A case study from South Africa". Ecol. Modell. vol. 322, pp. 19-30. 2016.
- [10] W. Musazura, A. O. Odindo, E. H. Tesfamariam, J. C. Hughes y C. A. Buckley, Nitrogen and phosphorus dynamics in plants and soil fertigated with decentralised wastewater treatment effluent Agricultural Water Management, vol. 215, pp. 55-62. 2019.
- [11] L. E. Lesser, A. Mora, C. Moreau, J. Mahlknecht, A. Hernández-Antonio, Al. Ramírez y H. Barrios-Pina, "Survey of 218 organic contaminants in groundwater derived from the world's largest untreated wastewater irrigation system: Mezquital Valley, Mexico". Chemosphere, vol. 198, pp. 510-521. 2018.
- [12] F. M. C. Oviedo, M. L. Herrera, R. B. Hernández, O. A. A. Sandoval, C. A. Lucho-Constantino, M. I. R. Santamaría, "Degradación del suelo en el Distrito de riego 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Soil degradation in the irrigation District 003 Tula, Valle del Mezquital, Hidalgo, Mexico". UDO Agrícola, vol. 12. 2018.
- [13] R. Pérez, R. Jiménez, B. E. Jiménez y A. Chávez, "El agua del valle del Mezquital, fuente de abastecimiento para el Valle de México". Documento de trabajo. [Intenet] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/mexicona>. 2009.
- [14] L. E. Lesser-Carrillo, J. M. Lesser-Illades, S. Arellano-Islas y D. González-Posadas, "Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central". Revista Mexicana Ciencias Geológicas, vol. 28, pp.323-336. 2011.
- [15] E. M. Otazo-Sánchez, A. E. Navarro-Frómata y V. P. Sing, "Water Availability and Management in Mexico". Springer. College Station, TX, USA, pp. 215-231. 2020.
- [16] Diario Oficial de la Federación, "Norma Oficial Mexicana: NOM-SEMARNAT-021-2000 Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreos y análisis. México". 2000.
- [17] P. E. Yúfera y D. J. M. Carrasco, "Química Agrícola". Primera edición. Ed. Alambra, Barcelona España. 1973.
- [18] S. R. Bolulding, "Description and Sampling of contaminated Soils a field guide". 2nd. Ed. Lewis Publishers. Boca Raton, FA, USA, p. 229. 1994.
- [19] Flores, L., Blas, G., Hernández, G. y Alcalá, R., 1997. Distribution and sequential extraction of some heavy metals from soils irrigated with wastewater from Mexico City. Springer Netherlands. 98: 105-117.
- [20] C. M. Seoáñez, A. A. J. Chacón, De O. A. Gutiérrez y A. I. Angulo, "Contaminación del suelo". Estu-

dios, tratamiento y gestión. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. Vol. 29, pp. 169-170. 1999.

[21] C. J. Porta, L. A. M. Reguerin, De la B. C. Roquero, "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". Ediciones Mundi-prensa. Madrid.España. 1994.

[22] J. García-Rocha, "Correlación de propiedades fisicoquímicas y metales selectos en suelos agrícolas de la región Mixquiahuala-Progreso-Tepatepec del Distrito de Riego 03, irrigados con aguas negras". Tesis de licenciatura. Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. 2004.

[23] L. F. Juárez-Santillán, "Efecto de la fertilización nitrogenada y aprovechamiento de fósforo y potasio en suelos de Tlaxcoapan y Vicente Guerrero, Hidalgo para el cultivo de cebada". Tesis de licenciatura. Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. 2005.

[24] C. A. Lucho-Constantino, M. Álvarez, R. I. Beltrán-Hernández, F. Prieto, y H. M. Poggi-Varaldo, "A multivariate analysis of the the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater". *Environment International*, vol. 31, pp 313-323. 2004.

[25] A. Kumar y S. Sharma, "Microbes and Enzymes in Soil Health and Bioremediation". In *Microorganisms for Sustainability*. Springer, vol. 16. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9117-0>. 2020.

[26] M. F. Souza, E. M. B. Soares, I. R. Silva, R. F. Novais y M. F. O. Silva, "Competitive sorption and desorption of phosphate and citrate in clayey and sandy loam soils". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol 38, pp. 1153-1161. 2014.

[27] W. Musazura, A. Odindo, I. Bame y E. Tesfariam, "Effect of irrigation with anaerobic baffled reactor effluent on Swiss chard (*Beta vulgaris* cicla.) yield, nutrient uptake and leaching". *Journal Water Reuse Desalin*, vol. 5, pp. 592-609. 2015.

[28] C. De Notaris, J. Rasmussen, P. Sørensen y J. E. Olesen, "Nitrogen leaching: a crop rotation perspective on the effect of N surplus, field management and use of catch crops". *Agriculture Ecosystems Environment*, vol. 255, pp. 1-11. 2018.

[29] M. I. González, "Potencia de prueba: la gran ausente en muchos trabajos científicos". *Agronomía Mesoamericana*, vol. 19 no. 2, pp.309-313. 2008.

[30] D. C. Montgomery, "Diseño y análisis de experimentos". Limusa Wiley, México D.F. p. 686. 2003.

[31] J. D. Hernández-Lalinde, J. F. Espinosa-Castro, M. E. Peñaloza-Tarazona, J. E. Rodríguez, J. G. Chacón-Rangel, C. A. Toloza-Sierra, M. K. Arenas-Torrado, S. M. Carrillo-Sierra y V. J. Bermúdez-Pirela, "Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones". *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, pp. 587-595. 2018.

ANEXO 1. Características fisicoquímicas del suelo

Profundidad (cm)	pH	CIC (Cmol (+)*kg <sup>-1</sup> )	CE (dS *m <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	MO	Arcilla	Limo	Arena
				mg*kg <sup>-1</sup>			%			
30-1	8.25 ±0.36	37.34 ±0.71	1.44 ±0.10	130.58 ±2.37	5.09 ±0.42	64.18 ±4.80	2.61 ±0.31	24.33 ±1.53	36.00 ±1.73	39.67 ±2.08
30-2	7.20 ±0.05	34.42 ±3.44	1.37 ±0.02	156.54 ±4.25	10.67 ±0.24	61.53 ±7.15	2.07 ±0.05	24.00 ±1.00	35.00 ±1.00	41.00 ±1.73
30-3	8.26 ±0.16	43.31 ±4.02	1.17 ±0.08	144.21 ±1.54	3.69 ±0.43	130.82 ±1.60	3.60 ±0.19	25.00 ±1.00	34.67 ±1.53	40.33 ±2.08
30-4	8.69 ±0.22	35.12 ±1.75	0.66 ±0.05	96.99 ±2.03	2.34 ±0.20	64.79 ±1.07	1.78 ±0.19	22.00 ±1.00	35.67 ±0.58	42.33 ±1.15
30-5	7.67 ±0.18	37.93 ±0.38	0.84 ±0.02	101.91 ±4.09	7.67 ±0.15	135.30 ±0.45	2.25 ±0.05	21.33 ±0.58	37.00 ±1.00	41.67 ±1.15
60-1	8.36 ±0.09	41.76 ±2.34	1.06 ±0.13	120.64 ±8.47	2.68 ±0.22	44.73 ±1.49	1.60 ±0.20	25.67 ±1.53	36.00 ±1.00	38.33 ±2.52
60-2	7.72 ±0.19	35.40 ±1.91	0.67 ±0.01	140.20 ±2.06	9.86 ±0.50	70.99 ±9.18	0.98 ±0.07	19.33 ±0.58	40.00 ±1.00	40.67 ±1.15
60-3	8.16 ±0.27	45.95 ±2.09	0.77 ±0.02	135.63 ±2.52	4.51 ±0.14	73.02 ±1.58	2.70 ±0.05	22.33 ±1.53	34.33 ±1.15	43.33 ±0.58
60-4	8.48 ±0.21	34.77 ±1.10	0.78 ±0.02	61.68 ±0.85	3.34 ±0.13	75.31 ±4.14	2.57 ±0.04	22.67 ±1.53	35.00 ±1.73	42.33 ±3.06
60-5	8.14 ±0.11	35.91 ±0.55	0.67 ±0.02	53.35 ±0.64	4.41 ±0.07	63.79 ±2.25	2.46 ±0.10	21.67 ±1.15	32.67 ±1.15	45.33 ±0.58
90-1	8.18 ±0.04	43.17 ±1.92	1.55 ±0.04	100.16 ±1.83	2.18 ±0.11	52.64 ±1.39	1.46 ±0.21	26.67 ±1.53	34.33 ±0.58	39.00 ±2.00
90-2	7.78 ±0.05	31.26 ±1.15	0.77 ±0.02	122.93 ±1.60	10.04 ±0.38	64.77 ±1.53	1.08 ±0.10	23.67 ±1.53	37.33 ±3.06	39.00 ±1.73
90-3	8.14 ±0.34	46.58 ±2.00	0.77 ±0.01	117.20 ±1.67	1.44 ±0.01	76.97 ±0.77	2.78 ±0.18	27.00 ±1.00	35.00 ±1.00	38.67 ±1.15
90-4	8.75 ±0.07	29.22 ±1.58	0.81 ±0.02	98.16 ±0.53	3.26 ±0.11	69.45 ±2.13	2.06 ±0.08	31.67 ±3.51	36.00 ±2.65	32.33 ±2.52
90-5	7.90 ±0.02	35.92 ±0.68	0.81 ±0.01	65.36 ±2.44	3.82 ±0.03	46.42 ±0.98	2.05 ±0.05	29.33 ±3.21	29.33 ±1.15	46.00 ±1.00

30, 60, y 90=profundidad en cm; 1, 2, 3, 4, y 5=Número de muestreo, Cl<sup>-</sup>=Cloruros, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=Sulfatos, P=Fósforo, CIC=Capacidad de intercambio catiónico, CE=Conductividad eléctrica en el extracto de saturación, MO=Materia orgánica.

ANEXO 2. Resultados de la prueba de Tukey

Profundidad (cm)	pH	CIC	CE <sub>s</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	MO	Arcilla	Limo	Arena	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> <sup>+</sup>
30-1	cdef*	abcd	de	ef	g	cd	fg	abcde	bcd	b	d	b
30-2	a	ab	d	h	j	bc	de	abcd	bc	bcd	g	d
30-3	cdef	bcd	c	f	de	G	h	bcde	bc	bc	a	a
30-4	ef	ab	a	c	b	cde	cd	abcd	bcd	bcd	ef	c
30-5	ab	abcd	b	c	h	g	ef	ab	bcd	bcd	cd	d
60-1	def	bcd	c	d	bc	a	c	bcde	bcd	b	c	a
60-2	abc	ab	a	f	i	cdef	a	a	d	bcd	ef	c
60-3	bcde	cd	ab	fg	fg	def	g	abcd	bc	bd	d	c
60-4	ef	ab	ab	ab	cd	ef	fg	abcd	bc	bcd	ab	b
60-5	bcde	abc	a	a	efg	cd	efg	abc	ab	cd	g	e
90-1	bcdef	bcd	e	c	ab	ab	bc	cdef	bc	b	f	g
90-2	bc	a	ab	de	ij	cde	ab	abcd	cd	b	b	b
90-3	bcde	d	ab	d	a	f	g	def	bc	b	g	f
90-4	f	a	ab	c	cd	cdef	de	f	bcd	a	b	a
90-5	bcd	abc	ab	b	def	a	de	ef	a	d	e	c

a, b y c=letras diferentes en una misma columna indican diferencia significativa entre un muestreo y otros, \*=las letras en negro indican que ahí se presentaron los valores más altos de la variable

## ANEXO 3. Correlación de Pearson

	pH	CIC	CE	CI	SO	P	MO	Arcilla	Limo	Arena	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
pH	1.00											
CIC	0.12	1.00										
CE	-0.16	0.19	1.00									
CI	<b>-0.35*</b>	0.24	<b>0.40**</b>	1.00								
SO	<b>-0.75**</b>	<b>-0.39**</b>	-0.01	<b>0.45**</b>	1.00							
P	-0.09	0.18	-0.08	0.20	0.13	1.00						
MO	0.22	<b>0.40**</b>	0.10	-0.01	<b>-0.40**</b>	<b>0.52**</b>	1.00					
Arcilla	0.27	-0.03	0.22	-0.15	<b>-0.43**</b>	-0.25	0.10	1.00				
Limo	-0.03	-0.05	-0.07	<b>0.46**</b>	<b>0.42**</b>	0.22	<b>-0.33*</b>	<b>-0.39**</b>	1.00			
Arena	-0.28	0.07	-0.20	<b>-0.31*</b>	0.06	-0.01	0.14	<b>-0.49**</b>	<b>-0.52**</b>			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0.34*</b>	0.16	0.04	-0.06	0.03	<b>-0.39**</b>	-0.21	-0.12	-0.20	<b>0.32*</b>	1.00	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<b>-0.38**</b>	0.26	-0.04	-0.13	0.04	-0.09	-0.12	-0.22	-0.20	<b>0.41**</b>	<b>0.86**</b>	1.00

\*La correlación es significativa en el nivel 0.05(bilateral).

\*\*La correlación es significativa en el nivel 0.01(bilateral).



Calidad

y

Sistemas de  
Manufactura

---

Ingeniantes

# Evaluación del contenido de cloro en botellas de PET mediante método químico y simulación



## Colaboración

Miguel Angel Del Ángel Hernández, Ana Beatriz Morales Cepeda, José Luis Rivera Armenta, Hugo Eduardo de Alva Salazar, Tecnológico Nacional de México / Centro de Investigación en Petroquímica

**RESUMEN:** El presente trabajo realiza una comparación entre una reacción de glicólisis de Polietileno tereftalato (PET) a nivel laboratorio con una simulación de la reacción con la finalidad de evaluar el nivel de contaminación ocasionado por etiquetas de cloruro de polivinilo (PVC) empleado en el adhesivo de las etiquetas en botellas de bebidas. Primeramente se realizó la reacción de esterificación con los reactivos empleados y posteriormente se adicionó PVC como contaminante en 3 niveles. Mediante el método de Mohr se calculó la cantidad de HCl presente en el condensado y la cantidad de cloruros en sólido. Con el uso del software ASPEN plus se realizó la simulación de la misma reacción corroborando el balance de materia obtenido en el laboratorio de la reacción de esterificación. Los resultados mostraron una buena correlación entre los balances de materia en reacción de laboratorio y la reacción simulada, de los productos y subproductos generados.

**PALABRAS CLAVE:** Cloruros, Contaminantes, Esterificación, PET, PVC, Simulación.

**ABSTRACT:** Present work reports a comparison between a glycolysis reaction of Polyethylene terephthalate (PET) at laboratory scale and a simulation using the ASPEN plus simulator, with the aim to evaluate the pollution level caused by presence of Polyvinyl chloride (PVC) use in sticks in beverages bottles. First, a esterification reaction was carried out adding PVC as pollutant in 3 concentrations. By means Mohr's method the chloride content was determining in condensate and in solid product. The ASPEN software was used to evaluate the behavior of same reaction comparing the matter balance and comparing the results obtained with results obtained in laboratory reaction. The obtained results showed a good correlation between matter balances of products and byproducts between laboratory reaction and simulated reaction.

**KEYWORDS:** Chlorides, Pollutants, Esterification, PET, PVC, Simulation

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente por polímeros es uno de los mayores problemas que se presentan en la actualidad para el ser humano, por lo que se vuelve necesario encontrar soluciones para reducir esa contami-

nación. Una de las opciones que se tienen para reducir la contaminación por polímeros, es el reciclaje [1-3]. Al ser el PET un material empleado para almacenar bebidas carbonatadas y otros productos comestibles, es un material que produce grandes cantidades de desechos, sin embargo es un material que presenta la ventaja de poder ser reciclado [4]. EL PET reciclado requiere de un proceso de limpieza, sobre todo, para remover por completo las etiquetas empleadas en las botellas, sin embargo en la mayoría de las ocasiones no es posible retirar por completo las etiquetas quedando residuos de adhesivo que es a base de PVC [5, 6]. El PVC es un polímero que al ser sometido a un calentamiento puede presentar desprendimiento de pequeñas cantidades de HCl, el cual es una sustancia que puede generar contaminación al material reciclado además de que en concentraciones considerables puede ser dañino al ser humano [7]. De manera que se vuelve necesario conocer el comportamiento que tendrá el PET al ser sometido a un proceso de reciclado e identificar la cantidad de HCl que se puede generar por la presencia de etiquetas en las botellas de PET, razón por la cual en el presente trabajo se realizó un estudio a nivel laboratorio realizando una reacción de esterificación del PET y se compararon los resultados obtenidos contra la reacción evaluada empleando el simulador ASPEN plus, tomando al PVC como un contaminante del PET postconsumo, ya que la presencia de HCl en la reacción de esterificación produce manchas y grumos en el producto final de la reacción de esterilización.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Materiales

Para el presente trabajo se utilizaron los siguientes materiales. Ácido terftálico (TPA) y etilenglicol (EG), los cuales fueron donados por la empresa M&G Polímeros, Altamira, Tams., Policloruro de vinilo (PVC) el cual fue donado por la empresa Mexichem, Altamira, Tams., y Polietilen terftalato (PET) obtenido de botellas de refresco.

### Reacciones de esterificación y glicólisis

Las reacciones de la investigación se realizaron en un reactor PAAR modelo 5100, equipado con sistema de agitación, control de temperatura y agitación mecánica, además de una chaqueta de calentamiento. La reacción de esterilización se realizó primeramente empleando TPA y EG como reacción blanco, posteriormente se adicionó PVC en 3 diferentes concentraciones para evaluar el efecto de la cantidad de PVC como contaminante en la reacción de esterilización. Se realizaron dos reacciones de glicólisis, una en blanco y otra con PVC como contaminante.

### Cálculo de cloro por Método de Mohr

Para determinar la cantidad de cloro en el condensado de la reacción de esterilización se empleó el método de Mohr, consistente en preparar soluciones de bicarbonato de sodio 0.5 N, y nitrato de plata 0.01 N, y como

indicador una solución de cromado de patio al 5%. El producto de la reacción de esterificación se filtró para eliminar impurezas de las reacciones, y se diluyó el condensado manteniendo pH entre 7 y 10, adicionando el indicador hasta obtener un vire a color rojo ladrillo, se determinó el cálculo de volumen gastado el cual se relacionó con la cantidad de cloruros presentes en el material.

### Simulación de la reacción de esterificación

Para llevar a cabo la simulación de la reacción de esterilización, se empleó el ASPEN plus, seleccionando un actor tipo batch, un modelo termodinámica NRTL-RK, incluyendo un condensador para los vapores, y las condiciones de operación se tomaron de las condiciones de reacción a nivel laboratorio. Los datos cinéticos como energía de activación y factor de frecuencia se obtuvieron del ASPEN plus.

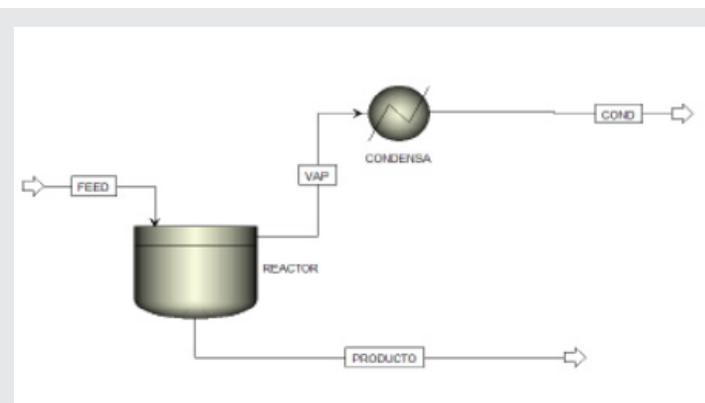


Figura 1. Diagrama de flujo de la reacción de esterificación empleando el simulador ASPEN plus.

Fuente: elaboración propia.

Para la reacción de glicólisis se tuvieron como consideraciones el modelo termodinámica NRTL-RK, y de la misma forma tomando los datos cinéticos del ASPEN [8] y Yamada et al [9].

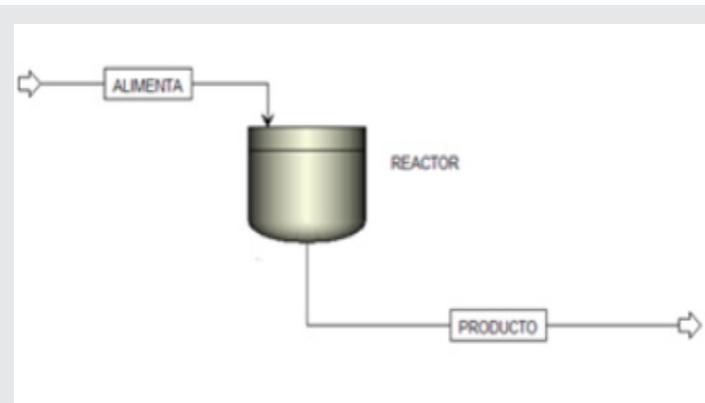


Figura 2. Diagrama de flujo de la reacción de glicólisis empleando el simulador ASPEN plus.

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra el balance de materia de las

reacciones de esterificación blanco y con 3 niveles de contenido de PVC como contaminante, se puede observar diferencias en la masa entre reactivos y productos, la cual se atribuyó a ligera pérdida de vapores por empaques de rector, sin embargo esta diferencia no afectó a la cuantificación de cloro contenido. En el producto final se obtuvo un producto blanco con aspecto sólido y ligero aroma a EG, lo que corresponde a BHET, el cual se determinó su peso y se reportó en la tabla 1. Estos resultados concuerdan con reportes previos en donde el BHET se genera con rendimientos de alrededor de 85% o más [10].

Tabla 1. Balance de materia de reacciones de esterificación.

Compuesto	Blanco sin PVC como contaminante		
	Reactivos (g)	Productos (g)	Diferencia en g
EG (g)	401.76	0	---
TPA (g)	532	0	---
PVC (g)	0	0	---
Prod BHET (g)	0	796.2	---
Condensado (g)	0	96	---
Total (g)	933.76	892.2	-41.56
<b>Con 3.135 g de PVC como contaminante</b>			
PVC (g)	3.135	0	---
Prod BHET (g)	0	823.2	---
Condensado (g)	0	93	---
Total (g)	936.895	916.2	-20.91
<b>Con 7.72 g de PVC como contaminante</b>			
PVC (g)	7.72	0	---
Prod BHET (g)	0	819.2	---
Condensado (g)	0	96	---
Total (g)	941.48	915.2	-26.28
<b>Con 20.8646 g de PVC como contaminante</b>			
PVC (g)	20.8646	0	---
Prod BHET (g)	0	812.8	---
Condensado (g)		117	---
Total (g)	954.62	929.8	-24.82

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el contenido de cloruros en condensados y producto para evaluar el efecto contaminante de PVC. La tabla 2 presenta los resultados de contenido de cloruros en producto y condensado determinados por el método de Mohr.

De acuerdo con los resultados de cloruros obtenidos, se puede observar que el contenido fue muy bajo, lo que puede indicar que algo de cloruros quedó atrapado en el producto, atribuido principalmente a que el sistema reaccionante se volvió viscoso ocasionando que parte del HCl en forma gaseosa no se separara completamente.

Tabla 2. Contenido de cloruros en producto y condensado, determinado por método de Mohr.

Cantidad de PVC	Cloruros en condensado, mg	Cloruros en producto, mg	Cloruros totales, mg
0	0	0	0
3.135	35.05	1.18	40.18
7.72	86.31	2.36	98.08
20.86	233.27	7.09	246.97

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la simulación se presentan en la tabla 3, en la cual se hace un comparativo contra los resultados obtenidos en el laboratorio. En la tabla el producto se refiere a BHET. Se puede observar que hay diferencias entre el producto obtenido y el condensado, como se comentó previamente, en el sistema de reacción a nivel laboratorio, se presentaron desprendimiento de volátiles debido a fallas en algunos sellos del reactor, que pueden ser las diferencias encontradas al comparar los valores contra lo reportado en el simulador.

Por otro lado, el simulador demostró que el 100% de PET reaccionó para dar BHET, como se ilustra en la figura 3, en la cual la línea morada representa la fracción molar de BHET, y la línea azul la fracción molar de PET [11].

Tabla 3. Comparativo de balance de materia entre reacción de laboratorio y simulador para condensado y producto.

	Laboratorio	Simulador	Diferencia
Condensado, (g)	96	105.92	9.92
Producto (g)	796.2	827.87	31.67
Total, (g)	892.2	933.79	41.59

Fuente: Elaboración propia

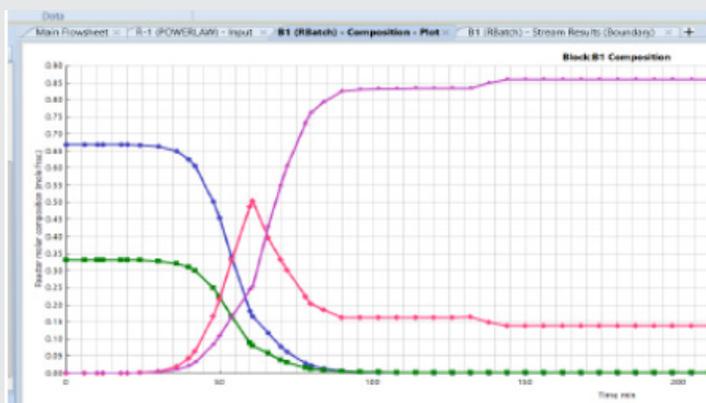


Figura 3. Concentraciones molares de reactivos y productos de la reacción de esterificación de PET, empleando el simulador ASPEN plus.

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo demostrar que el PET postconsumo puede ser reciclado y que la contaminación generada por PVC presente en las etiquetas de las botellas de bebidas producen pequeñas concentraciones de cloruros los cuales generan que el BWHET que es el producto de la reacción de glicólisis del PET, contenga cloro que puede generar daños por corrosión en los equipos a nivel industrial.

Los balances de materia de la reacción nivel laboratorio y empleando el simulador ASPEN plus mostraron pequeñas diferencias, esto atribuido a pequeñas pérdidas de vapores en el reactor durante la reacción. En general, el balance de materia de cloruro desprendido de la descomposición del PVC usado como contaminante en la reacción, mostró datos similares a los calculados teóricamente.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PRODEP por el financiamiento para la realización del presente trabajo con el proyecto "Evaluación síntesis de PET empleando PET de reciclaje vía laboratorio y simulación", con clave ITCMADCA16 FORTALECIMIENTO A CUERPOS ACADÉMICOS CONVOCATORIA 2019. Uno de los autores MADAH, agradece al programa de becas CONACYT SECRETARIA DE ENERGÍA Sustentabilidad energética 2018, por la beca número 640454.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] ECOCE (2019). Beneficios de reciclar. Abril 12, 2019. <http://ecoce.mx/beneficios-de-reciclar.php>

[2] Plastics Technology México (2016). El reciclaje de PET en México es caso de éxito. Enero 12 2016. <http://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/el-reciclaje-de-pet-en-mexico-es-caso-de-exito>.

[3] A.B. Raheem, Z.Z. Noor, A. Hassan, M.K. Abd Hamid, S.A. Samsudin, & A.H. Sabeen. Current de-

velopments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: a review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 1052-1064, 2019.

[4] S. Ügdüler, K.M. Van Geem, R. Denolf, M. Roosen, N. Mys, K. Ragaert, & S. De Meester. Towards closed-loop recycling of multilayer and coloured PET plastic waste by alkaline hydrolysis. *Green Chemistry*, 22(16), 5376-5394, 2020.

[5] B. Bertolotti, J. Chávez, R. Laos, C. Rospigliosi, J. Nakamatsu. Poliésteres y reciclaje químico del Poli(tereftalato de etileno). *Revista de química*, 19, 1, 13-20, 2005.

[6] D. Carta, G. Cao, C. D Angeli, Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate) (PET) by hydrolysis and glycolysis. *Environment Science and Pollution research*, 10, 6, 390-394, 2003.

[7] F. Awaja, D. Paver. Recycling of PET. *European Polymer journal*, 41, 1453-1477, 2005.

[8] AspenTech, Chapter 3: reaction kinetics. *En Polyester technology package user guide*. USA. AspenTech package, 2004.

[9] T. Yamada, Y. Imamura, O. Makimur. R. G. Gallagher. Mathematical model for computer simulation of the direct continuous esterification process between terephthalic acid and ethylene glycol. Part II: reaction rate constants. *Polymer engineering and science*, 26, 10, 708-716, 1986.

[10] A. Aguado, L. Martínez, L. Becerra, M. Arieta-Araunabeña, S. Arnaiz, A. Asueta, & I. Robertson. (Chemical depolymerisation of PET complex waste: hydrolysis vs. glycolysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16, 2, 201-210. 2014.

[11] A. Desouza, K.M. Dharmala, S. Gondu, S.K. Gupta, & J. Adhikari. Fluid phase behavior of ethylene glycol+ water mixtures (at operating conditions of the first-stage esterification reactors for PET synthesis) by molecular simulations and activity coefficient ( $\gamma$ - $\phi$ ) method. *Journal of Molecular Liquids*, 199, 565-571, 2014.



Multidisciplinario  
e  
ingenierías

---

Ingeniantes

# Marco de innovación sustentable: una posible aplicación en la cadena de valor chile jalapeño en Quintana Roo

## Colaboración

Sobrino Moguel, Jerry Francisco; Sosa Alcaraz, Mayanin Asunción, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mérida; Góngora Pérez, Rubén Darío, INIFAP / Campo Experimental Chetumal Quintana Roo; Sarmiento Franco, José Francisco, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mérida



**RESUMEN:** Muchos estudios sobre procesos de innovación ya están presentando alternativas que incluyen al desarrollo sustentable; de hecho, en la agricultura, a través de sistemas de innovación, se muestran enfoques y prácticas sustentables que apoyen y mejoren el funcionamiento de dichos sistemas. Un primer paso es presentar un análisis documental y bibliográfico de un posible marco de innovación que apoye la sustentabilidad en el sector agrícola. Un siguiente paso sería su aplicación y evaluación que permita identificar las oportunidades y barreras reales que se presentan en el campo de estudio. Este artículo tiene como propósito poner a consideración un marco que integra procesos de innovación y redes de conocimiento, así como analizar de manera crítica las condiciones y retos de construir e implementar dicho marco para entender los sistemas de innovación agrícola, en especial el del sistema producto Chile Jalapeño en Quintana Roo. Este análisis ilustra tanto aspectos estructurales como funcionales del sistema de innovación, y cuáles podrían ser las barreras que impiden que se construya y fortalezca.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de innovación agrícola, desarrollo sustentable, sistema producto Chile Jalapeño.

**ABSTRACT:** Many studies on innovation processes are already presenting alternatives that include sustainable development; in fact, in agriculture, through innovation systems, sustainable approaches and practices are shown supporting and improving the functioning of such systems. A first step is to present a documentary and bibliographic analysis of a possible innovation framework that supports sustainability in the agricultural sector. A next step would be its application and evaluation, which will make it possible to identify the real opportunities and barriers that arise in the field of study. The purpose of this article is to consider a framework that integrates innovation processes and knowledge networks, as well as to analyze the conditions and challenges of building and implementing such framework critically, to understand agricultural innovation systems, especially the Chile Jalapeño product system in Quintana Roo. This analysis illustrates both structural and functional aspects of the innovation system; in addition to what the barriers can be that prevent it from being built and strengthened.

**KEYWORDS:** Agricultural innovation system, sustainable development, Chile Jalapeño product system.

## INTRODUCCIÓN

El aprendizaje y el conocimiento en la agricultura es multifacético; ya que incorpora la interacción de múltiples actores para mejorar las condiciones económicas y sociales de los productores agrícolas. Los sistemas de innovación agrícola son complejos debido a que dichas condiciones no son iguales entre los actores que intercambian información; cada institución y persona aprende y actúa de acuerdo a sus experiencias y conocimiento [1]. La innovación y el desarrollo tecnológico han tenido un impacto positivo en la agricultura; sin embargo, no siempre está disponible a todos los productores, sobre todo a los pequeños, y tampoco, dicha innovación favorece al desarrollo sustentable [2].

Un marco de sistema de innovación agrícola fue desarrollado por Spielman and Birner, el cual incluye al productor como el principal actor comprometido a participar en una red compleja de innovación, ya sea formal o informal; y también en involucrase en políticas que incentiven este tipo de sistema.

La red de conocimiento es muy importante ya que ayuda a fortalecer y a enriquecer los conocimientos de la misma, se crean grupos de personas para elaborar estrategias en las mesas de diálogo sobre las problemáticas que se van presentando. Algunos autores [3] mencionan que la mesa de diálogo permite validar y enriquecer el diagnóstico para fortalecer las estrategias, brindando ideas para un mejor cuidado en el proceso del cultivo, empodera a los diversos actores y facilita los acuerdos formados por grupos multidisciplinarios, una de ellas puede ser: las cooperativas ya que impulsan y mejoran la producción, la comercialización del cultivo a través de la formación de mesa de dialogo de conocimiento.

En los últimos años las discusiones de las redes de conocimiento son como un medio mediante el cual interactúan y mencionan una sociedad globalizada. La globalización en la red de conocimiento beneficia al hombre como productor brindándole conocimientos para poder interactuar y crear nuevas interacciones a través de una plataforma llamada innovación y tecnología [4].

La actividad agrícola ha sido desarrollada por muchos siglos alrededor del mundo; la cual depende principalmente del capital que es la tierra y el suelo. Otros autores [5] mencionan que el suelo es un componente primordial para la producción agrícola, es vulnerable, y conlleva a una larga recuperación (tarda varios años en formarse) por lo que se piensa que es un recurso natural no renovable. Por lo que, probablemente sea necesario fortalecer el desempeño de la investigación y la extensión para lograr un mayor impacto en la agricultura. Pero también, como maximizar las capacidades de emprendimiento y comercialización, sobre todo en productores pequeños.

Algunos autores [6] mencionan que, en varios estados, el chile es el principal producto agrícola, debido al aporte económico que brinda en su producción, dándole un mayor impacto al ámbito económico y a lo social que este representa, generando bastantes empleos en el medio rural y la activación económica de otros sectores productivos. El cultivo de chile principalmente es una actividad agrícola muy importante para el país, generando un alza en la economía del campo. México es esencial en la producción del chile, ya que aporta aproximadamente 2 toneladas anuales. El 70% de lo que produce el país lo exportan a EE.U. U; los principales estados en producir chile jalapeño son Guanajuato (1.3%), Zacatecas (9.3%) Sonora (1.2%) entre otros [7].

Una red de conocimientos que apoye a que los productores eleven sus capacidades, estén informados sobre los mejores procesos productivos, y tengan conocimiento del mercado para la venta de su producto obteniendo mejores precios y beneficios es necesario. Por eso, la importancia también de realizar un análisis para impulsar la sustentabilidad a través de un sistema de innovación agrícola, que impulse la producción de este tipo de chile y contribuya al desarrollo local agrícola en el estado de Quintana Roo.

Las redes de conocimiento tanto formales como informales, o sociales, detonan el intercambio y difusión de conocimiento y tecnología. La comprensión de un nuevo marco de innovación y redes entre diversos actores involucrados en la actividad agrícola, permitirá la visión y creación de nuevas prácticas y dinámicas de aprendizaje y aplicación de la sustentabilidad en la agricultura. Asimismo, dicho marco de referencia introduce un primer enfoque sistémico de innovación que considera no solo las dimensiones estructurales y funcionales del sistema, sino también, incorpora aspectos sociales y ambientales, a parte de los económicos. El presente artículo pretende aportar de una manera reflexiva y analítica cómo los estudios de innovación y redes pueden contribuir hacia una transición sustentable agrícola a nivel local y regional. Esta revisión de la literatura muestra como un marco de innovación sistémica puede favorecer a construir e implementar redes de conocimiento que ayuden a entender y mejorar la situación agrícola, en especial del sistema producto chile jalapeño en Quintana Roo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Este documento forma parte de una investigación más amplia y extensa en su primera fase. Dicha investigación busca apoyar y maximizar una de las cadenas de valor más relevantes en el estado de Quintana Roo. Para ello, se propone una examinación a profundidad de documentos y bibliografía que lleven a ilustrar la construcción de un nuevo marco de innovación agrícola en apoyo a la sustentabilidad. La revisión de literatura no se puede lograr sin un buen análisis crítico y su proceso de aplicación. El análisis crítico evalúa de manera objetiva y clara las fortalezas y las debilidades de una investigación [8]. La revisión de la literatura trata de detectar, obtener, consultar diversos documentos, referencias y otros materiales que pueden ser útiles para los propósitos de estudio, de los cuales se obtiene y recopila información necesaria relacionada al problema de investigación. Otro autor [9], comenta dos pasos importantes para una revisión documental: (a) exploración de estudios primarios individuales previamente, y (b) revisión de estudios secundarios relacionados a la planificación y desarrollo de la revisión. Por eso, diversos estudios científicos, empíricos, documentos gubernamentales, reglamentos y políticas públicas fueron analizados para una posible aplicación del marco de innovación a una escala local. Se menciona la cadena

de valor del chile jalapeño como el caso de estudio a analizar. Esto ayudará a continuar hacia la segunda fase, a través de una investigación acción e intervención.

## El caso del Chile Jalapeño en Quintana Roo

En el estado de Quintana Roo hay una nueva oportunidad en el sector agrícola hacia un nuevo mercado para el chile jalapeño a nivel nacional e internacional. Existe gran participación de los científicos del Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP) con el objetivo de impulsar este sector favoreciendo en alto la producción agrícola, cuyo objetivo es cumplir una estrategia integral e innovación tecnológico para impulsar la productividad de la cadena de valor del chile jalapeño, el propósito es generar variedades de chile jalapeño por parte del INIFAP, de igual manera encontrar nuevas alternativas para la comercialización nacional e internacional para un beneficio de los trabajadores [10].

En México se cultiva la mayor cantidad de variedades de chile, prácticamente en todo el territorio nacional se produce. Los chiles son típicos de la gastronomía mexicana y son productos con mayor potencial de mercado en el ámbito internacional. Con una aportación de producción anual de 3.2 millones de toneladas y con un crecimiento anual promedio de 4.8% en el periodo 2003-2016, representando el 3.5% de PIB agrícola nacional [11].

De acuerdo a [12] menciona que la situación del mercado del chile jalapeño en México, hoy en día presentan fuertes competencias en el mercado contra otros países, debido a que ya comienzan a figurar en el mercado. Países como Perú y Chile exportan frutos al país y están ganando el mercado local, debido a que el valor de dicho producto es más barato que el mexicano. Quintana Roo cuenta con las condiciones agroambientales adecuadas; el historial agrícola de cultivos hortícolas, especialmente el chile jalapeño, obtiene abundantes siembras durante el ciclo lluvioso. Este ciclo sigue siendo de gran importancia y es un gran reto para los agricultores, para mejorar las condiciones productivas y económicas de la cadena de valor de chile jalapeño [13].

## Redes de conocimientos y redes sociales

Un autor [14] menciona la estructura de red de conocimiento como un sistema en el que se relaciona socialmente para el mundo en el que vivimos, este se constituye por varias entidades en red. Dicho concepto se relaciona con una visión más integral de la misma, las redes de conocimiento forman sistemas o estructuras que se basan en flujos de información, innovación y crean nuevos conocimientos, para resolver problemas específicos, que cruzan barreras organizativas, sectoriales, institucionales, culturales o territoriales estas pueden estar integradas por universidades, centros de investigación, empresarios de administración local, ac-

tores políticos, representantes locales de los ministerios, entre otros.

Para otro autor [15] las redes de conocimiento permiten enriquecer y tener relación con las diversas instituciones académicas de los sectores productivos, este implica la formación de redes profesionales y de capacitación, en este sentido las redes de conocimiento se entienden por la dinámica y la estructura para poder tener una buena innovación de los productos.

**Estructura:** son las instituciones o los elementos centrales de la red, el desarrollo de proyectos específicos la colaboración y el flujo de conocimiento, en la institución se generan referencias que se basan tanto en las capacidades y recursos, como en las políticas y su capital institucional.

**Dinámica:** es el resultado de las interacciones cuando las instituciones crean o innovan sus estrategias, y las modifican con base a su estructura y definen sus objetivos deseados, el intercambio y la transformación de redes esta diferenciado por sus características de la institución, y a la vez esta se modifica y brinda un aprendizaje.

Una red es “[...] una nueva forma organizativa de movilizar recursos para la innovación y el desarrollo económico [...]”, p. 57), la cual significa un mecanismo de apoyo productivo y competitivo a escala rural [16]. Las autoras mencionan que la red es un recurso importante para una microempresa rural que participa en cadenas de valor dentro de un sistema producto, ya que esto les permitirá crecer y evolucionar para alcanzar una mejor calidad de vida. Sin embargo, no todas las microempresas participan a través de redes formales para generar conocimiento.

La legitimidad, la aceptación y la credibilidad son aspectos requeridos de los miembros que pertenecen a una red con la finalidad de desarrollar su negocio. La idea de las redes se centra en el tipo de vínculos que apoyen la integración de dicho negocio [17]. Por ejemplo, los canales de distribución, los bienes materiales, tecnología son parte de los vínculos. Pero, una red no solo establece relaciones, sino también la posibilidad de compartir los conocimientos de quienes participan en ella, incrementando su capacidad de innovar y competir.

Otro autor [18] menciona que las redes de conocimiento en la agricultura son capaces de sistematizar las ideas, aplicar métodos para que los agricultores prosperen de una manera enriquecedora, intercambiando conocimiento e información de aprendizaje y obtener resultados de innovación de las distintas áreas de producción que realicen, sin embargo, dichas redes también tienen un carácter individualista de conocimiento.

**Sistema de innovación agrícola**

La unión de diferentes organizaciones y negocios, ya sean públicos o privados, que generan y ofrecen conocimientos, competencias técnicas, de financiamiento, de comercialización, además, que incluye normas y mecanismos de interacción dentro de los contextos sociales, políticos, económicos e institucionales, se le conoce como un sistema de innovación [19]. Según Bergek [20] los elementos que componen dicho sistema son estructurales, funcionales, y los mecanismos que lo impulsan o bloquean. Entre los componentes estructurales se encuentran los actores, la infraestructura, las interacciones, entre otras. Mientras que las funciones se orientan hacia los procesos y dinámicas dentro del sistema. Por último, los problemas sistémicos comprenden las fallas y mecanismos del proceso de innovación. De hecho, el desarrollo de innovación tecnológica puede contribuir al aumento del rendimiento de los cultivos agrícolas y la reducción de la pobreza en comunidades rurales agrícolas.

Los sistemas de innovación agrícola son complejos e incluyen interacciones entre diferentes instituciones con respecto a cómo aprenden los individuos y las corporaciones, y cómo aprenden a cambiar y conocer las condiciones socioeconómicas de cada una de las partes involucrados [1]. Si bien estas interacciones han llevado al desarrollo de tecnologías que tienen un impacto positivo en la producción agrícola y mejores prácticas agrícolas; también es cierto que dicha tecnología no está disponible para todos los agricultores y no resuelve todos los problemas de sustentabilidad [2]. Para IICA [21] el concepto de sistemas de innovación agrícola “comprende un espacio de entendimiento amplio que abarca distintos ámbitos como la investigación, la extensión y las demás funciones que promueven o implementan la innovación. Desde este enfoque sistémico, los flujos de conocimiento se dan de una manera más interactiva y holística entre los actores, a diferencia del tradicional modelo lineal. Las políticas e instituciones (formal e informal) definen la forma en que estos actores interactúan, generan y usan los conocimientos, así como el aprendizaje en conjunto”. Esto significa que no solo es transferir y adoptar paquetes tecnológicos, sino que la innovación agrícola involucra diversos actores, experiencias y capacidades.

Un ejemplo de este modelo con un enfoque de trabajo participativo, inclusivo, competitivo y sustentable, es el caso de “la organización de pequeños productores agrícolas en Argentina y República Dominicana donde el trabajo colaborativo entre equipos de I+D y redes de técnicos (extensión), con enfoque integrador, facilitó la identificación de nuevas oportunidades de negocios, la creación de normas y políticas públicas, el aprovechamiento de la biodiversidad de manera sustentable y el desarrollo de conglomerados productivos en beneficio de la agricultura familiar” [21].

Dos autores [22] ilustran que los agricultores y productores se están moviendo hacia mejores prácticas agrícolas que no solo aportan beneficios económicos, sino que también contribuyen a la sustentabilidad ambiental para una agricultura a largo plazo, como la generación de nuevas prácticas viables como la agricultura orgánica, un aumento en la conciencia ambiental, y la necesidad de integrar los medios de vida y la conservación en las comunidades agrícolas.

Sustentabilidad agrícola se entenderá en este trabajo como aquella que basa su producción en la preservación de los sistemas naturales a largo plazo, es el saber cómo los servicios ambientales proporcionan recursos y calidad de vida a las personas, a través del desarrollo de tecnologías respetuosas con la naturaleza, residuos cero, reducción de problemas económicos y sociales, y la reducción de emisiones de CO2. Considerando la optimización del suelo, agua, nutrientes orgánicos y energía alternativa, así como, accediendo a mercados más reflexivos sobre el consumo de alimentos sanos y sustentables [23].

**La integración de estos dos marcos de referencia en apoyo a la sustentabilidad**

Las similitudes que se observan entre las redes y los sistemas de innovación son varias y complejas. El buen desempeño del sistema de innovación depende en gran medida de las relaciones e interacciones entre los diversos actores que generan e intercambian conocimiento y experiencias y aumentan su capacidad de aprendizaje para la mejor práctica agrícola, la comercialización del producto, y el mejoramiento de vida de los productores. Asimismo, se requiere de otras condiciones sociales, ambientales y económicas para lograr un desarrollo rural y de innovación en la agricultura, como son los mecanismos institucionales y normativos, capacidades humanas, las condiciones financieras, las demandas de innovación que impone la propia sociedad y el ambiente regional y global. A continuación, se propone un marco que integre los elementos estructurales (ver tabla 1) y funcionales dentro de un sistema de innovación local (ver tabla 2) que apoyen a la sustentabilidad, con la finalidad de crear oportunidades de influencia y desarrollo de un producto agrícola a nivel local/rural.

*Tabla 1. Los elementos estructurales del sistema de innovación agrícola. Fuente: Adaptado de Bergek et al. (2008)*

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	SUB-ELEMENTOS
<b>Actores sociales del sistema producto agrícola</b>	Academia, universidades, industria, empresas, ONGs, gobierno, sociedad civil, medio ambiente.
<b>Reglas / normas sociales en la agricultura</b>	Leyes, regulaciones, políticas, programas, costumbres, prácticas sociales en la agricultura, tradiciones en la agricultura.
<b>Redes / alianzas en la producción, I + D agrícola</b>	Sinergias, clusters, convenios, asociaciones, a nivel grupal o individual.
<b>Recursos asignados a la producción primaria</b>	Físicos, intelectuales, financieros.

Los elementos estructurales forman parte relevante del sistema de innovación. Estos son críticos y necesarios para el buen funcionamiento del sistema. Por lo que, hay un enlace entre la estructura y las funciones. La falta o ausencia de estructura afectará a las funciones del sistema. Los elementos se componen de cuatro variables que están relacionados e interactúan con cada función del sistema [20].

**Tabla 2. Propuesta de un marco sistémico de redes e innovación agrícola a nivel local**

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	IMPULSO / BARRERA DEL SISTEMA	FUNCIONES DEL SISTEMA	IMPULSO / BARRERA PARA LA SUSTENTABILIDAD
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	El tipo y tamaño de los agronegocios.  La formación de cooperativas agrícolas y/o asociaciones.	Actividades emprendedoras	La existencia de empresas sociales agrícolas.  Presencia de incubadoras tecnológicas agrícolas contribuyendo a mejorar procesos de riego, de suelo, entre otros.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	La generación del conocimiento básico o aplicado.  El número de proyectos de inversión, de investigaciones, y patentes registradas.	Generación del conocimiento	Número de proyectos de innovación social y/o de impacto social y ambiental.  Dichos proyectos son apoyados por programas o políticas a nivel nacional.  Nuevas técnicas o prácticas agrícolas, responsables con el medio ambiente.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	La existencia de alianzas incipientes o consolidadas.  La fuerza de la competencia.	Transferencia del conocimiento	La presencia de líneas del conocimiento no lineales, inclusivas y participativas.  Diálogo de saberes.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	La presencia de metas y propósitos compartidos y articulados para fortalecer al sistema.  Existen políticas y programas públicos en soporte de la agricultura.  Mecanismos y expectativas de la ciencia y tecnología orientada al campo.  Legislaciones articuladas y con visión hacia el futuro agrícola.	Guía gubernamental	Impulso de las actividades gubernamentales hacia proyectos con propósitos sociales y ambientales dentro de los sistemas productivos y cadenas de valor.  Legislaciones que apoyen iniciativas socio-ambientales productivas, climáticas y de vida terrestre.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	El tipo y tamaño de nicho de mercado.  Los incentivos o barreras institucionales para la comercialización.	Mercado	Oportunidad para nuevos mercados que demandan productos agroecológicos u orgánicos.  Estudios sobre la economía circular en la agricultura.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	Existencia de suficientes recursos financieros para el fortalecimiento del sistema.  Correspondencia con las necesidades del sistema.	Mobilización de recursos	Existencia de capital de riesgo o financiamiento público/ privado para proyectos de innovación social.
Actores Reglas/normas sociales Redes/alianzas Recursos	La inversión de ciencia y tecnología vista como una legítima decisión entre los diferentes actores.	Legitimación	Resistencia al cambio, y la procedencia a tal resistencia sobre proyectos de innovación o emprendimiento social.

Fuente: Elaboración propia consultado en Bergesk et al. (2008); Aerni et al. (2015); IICA (2014).

## Condiciones y retos del presente marco de innovación y redes desde una perspectiva sustentable, incluyente y participativa en el sistema producto chile jalapeño

Esta propuesta no ha sido aplicada o estudiada de manera empírica, sin embargo, la finalidad de este marco sistemático de innovación integral es evaluar las oportunidades que las cadenas de valor de un producto específico tendrían dentro de un sistema producto; ya que, de otra forma, no surgiría espontáneamente. Es así que, se integran tanto los aspectos de estructura y de funciones, como los problemas o factores que pueden llegar a impulsar o detener al sistema. El desarrollo rural agrícola en general depende mucho de las condiciones socioeconómicas, políticas, institucionales, y de mercado. Adicionalmente, las condiciones de creatividad y capacidad de los productores en el momento de experimentar, innovar y evaluar sus conocimientos, así como el intercambio y transferencia de dicho conocimiento entre campesinos, es lo que incentiva o limita el sistema de innovación [24]. El proceso no solo de-

bería iniciar desde los centros de investigación pública o privada, también, desde los pequeños productores/ campesinos puede nacer la innovación y las interacciones, creando los ambientes propicios para un sistema de innovación más sustentable y participativo. Para que un sistema funcione adecuadamente todos los actores tienen que tener acceso y participar de manera equitativa en cada uno de los elementos y funciones dentro de dicho sistema.

En el caso del chile jalapeño en Quintana Roo como primer paso se podría fortalecer los elementos estructurales del sistema. Es decir, que la red de actores/ usuarios se apodere socialmente del conocimiento, participen de manera abierta, y se den las condiciones para que la articulación y el fortalecimiento de capacidades, tanto tecnológicas como institucionales, llegue a los beneficiarios directos, el pequeño y mediano productor, mediante un enfoque más integrador en los procesos de innovación [21].

Como segundo paso, sería trabajar en las capacidades, estímulos, y problemas que se dan a nivel de funciones del sistema. Ya que, invariablemente las funciones pueden alterar el funcionamiento de la estructura. Esto significa, que dentro del sistema de innovación los elementos estructurales y funcionales están interrelacionados y condicionados. Por ejemplo, si no hay el suficiente incentivo para la red social de conocimiento entre los actores, difícilmente ocurrirá una transferencia de tecnología. En este sentido, cada función debe ser vista desde los cuatro elementos estructurales, y analizar los problemas sistémicos que pueden obstaculizar o impulsar la producción y comercialización del chile jalapeño. Asimismo, el análisis de esos problemas también debería estar orientado no hacia una racionalidad económica, meramente capitalista, se requiere de una reconversión sistémica en la agricultura. De tal manera, que nuevas prácticas y condiciones agroecológicas formen parte de los sistemas de innovación agrícola.

La clave en los trabajos colaborativos y el impulso en los emprendimientos sociales, en este caso el sistema producto chile jalapeño en Quintana Roo, radica en el desarrollo de la confianza y legitimidad entre los actores, y afianzar un liderazgo que represente una guía de regeneración social. Se trata, entonces, de generar diálogos de saberes tecnológicos y tradicionales en beneficio de la tierra y de quien la trabaja. La promoción de una cultura de innovación de abajo hacia arriba permitirá también crear los espacios de co-responsabilidad, co-aprendizaje, y co-evolución. Como consecuencia, todos los actores comparten la responsabilidad de que los proyectos y su participación dentro del sistema dependen de su labor en conjunto, y no de manera individual. Con ello, los diferentes elementos del sistema podrán ser aplicados y vistos como un proceso cíclico y de manera funcional.

**CONCLUSIONES**

Una red de conocimientos que apoye a que los productores agrícolas incrementen sus niveles de participación en mercados globales/locales, así como sus capacidades es necesario. De acuerdo al análisis presentado existen factores de carácter técnico, económico, social y ambiental que podrían limitar la producción no sólo del chile jalapeño, sino de muchos productos agrícolas en México. Por eso, la importancia de incorporar la sustentabilidad en un sistema de innovación agrícola, que impulse la agronomía desde abajo, en especial del sistema producto chile jalapeño, y contribuya al desarrollo local.

Las redes de conocimiento detonan el intercambio y difusión de conocimiento y tecnología. Esto significa que podrán crecer y evolucionar hasta lograr mejores niveles de bienestar. Aunque, no todas las redes son formales, también el intercambio de información de manera informal puede derivar en nuevos conocimientos. Por ejemplo, las redes sociales representan una buena alternativa porque proveen de información relevante, buscan acceso a diferentes recursos, pueden ser un vehículo para obtener legitimidad, entre otros aspectos [25]. La visión de un nuevo marco de innovación sustentable permitiría la creación de nuevas prácticas, dinámicas de aprendizaje, así como la posible aplicación de la sustentabilidad en la agricultura.

El presente marco de referencia sería un primer acercamiento a un proceso sistémico de innovación, que contempla dimensiones estructurales y funcionales del sistema, e incluye aspectos sociales y ambientales, así como los económicos. Esto con el fin de que la innovación y los estudios sobre redes contribuyan hacia la sustentabilidad en el sector agrícola a nivel local y regional. Las condiciones y retos de construir e implementar un marco de innovación sustentable participativo e inclusivo demanda no sólo factores comerciales, programas, o tecnología, también necesita de voluntad y legitimidad a la hora de intercambiar conocimiento y experiencias entre todos los actores que participan en la cadena de valor.

Esta propuesta sistemática de innovación integral muestra la posibilidad que tienen las cadenas de valor agrícolas de participar de manera armónica en redes de conocimiento; a través del análisis de diversos aspectos, así como la identificación de problemas que no dejen crecer al sistema. Es una propuesta que traería cambios en las políticas y programas del sector agrícola a nivel regional, impulsando capacidades y economías locales.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1] Spielman, D., & Birner, R. (2008). *How Innovative Is Your Agriculture? Using Innovation Indicators and Benchmarks to Strengthen National Agricultural Innovation Systems*. *Agricultural and*

*Rural Development Discussion Paper 41*. USA: World Bank.

[2] Clark, W. (2003). *Institutional Needs for Sustainability Science*. Harvard University. Retrieved from <http://sustainabilityscience.org/ists>

[3] Oddone, N., & Padilla Pérez, R. (2016). *Manual para el fortalecimiento de cadenas de valor*.

[4] Albornoz, M., & Alfaraz, C. (2006). *Redes De Conocimiento Construcción, Dinámica Y Gestión*. In *Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) (Primera Ed)*. Retrieved from <http://repositorio.colciencias.gov.co/handle/11146/468>

[5] Dorronsoro, I., & Torroba Álvarez, L. (2007). *Microbiología de la tuberculosis*. *Seminarios de La Fundación Española de Reumatología*, 30(1), 84. <https://doi.org/10.1016/j.semreu.2014.01.001>

[6] Robles-Hernández, L., Gonzalez-Franco, A. C., Gill-Langarica, E. M., Pérez-Moreno, L., & López-Díaz, J. C. (2010). *Plant pathogenic viruses that affect pepper in Mexico and analysis of the detection techniques*. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(2), 72-86. <https://doi.org/10.1073/pnas.85.9.2994>

[7] Gómez Jaimes, R., Hernández Fuentes, L. M., Osuna García, J. A., & Urias López, M. A. (2013). *Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de tomate en el estado de Nayarit*.

[8] Bobenrieth, M. (2001) 'Lectura crítica de artículos originales en salud', *Medicina en familia*.

[9] Caro, M., Calero, C., Fernández, E., Piattini, M. (2005). *Análisis y revisión de la literatura en el contexto de proyectos de fin de carrera: Una propuesta*. [https://www.researchgate.net/publication/251671565\\_Analisis\\_y\\_revision\\_de\\_la\\_literatura\\_en\\_el\\_contexto\\_de\\_proyectos\\_de\\_fin\\_de\\_carrera\\_Una\\_propuesta#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/251671565_Analisis_y_revision_de_la_literatura_en_el_contexto_de_proyectos_de_fin_de_carrera_Una_propuesta#fullTextFileContent)

[10] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2019). *Primera variedad de chile serrano CHISER 522, tolerante a enfermedades*. <https://www.gob.mx/inifap/prensa/primera-variedad-de-chile-serrano-delgado-chiser-522-tolerante-a-enfermedades?idiom=es>

[11] SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. *Journal of Organic Chemistry*, 51(8), 63. <https://doi.org/10.1021/jo00358a030>

[12] Fragoso, C. (2014). *Chile Mexicano Enfrenta Competencia Del Mundo*. Retrieved from El Fi-

nanciero website: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/chile-mexicano-enfrenta-competencia-del-mundo>

[13] Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Estadísticas Agrícolas De Las Unidades de Riego, Año agrícola 2016 - 2017.

[14] Grossetti, M. (2007). Reflexiones en torno a la red. *Cuadernos de Antropología Social*, 12(25), 85-108. [https://doi.org/10.1016/S1695-4033\(02\)77856-9](https://doi.org/10.1016/S1695-4033(02)77856-9).

[15] Casas, R. (2002). Redes regionales de conocimiento en México. *Comercio Exterior*, 52(6), 492-507.

[16] Santos, M.J.; De Gortari, R. (2016). Las redes herramientas para la competitividad de las empresas rurales en México. México: UNAM / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

[17] Havnes, PA, y Knut S. (2001). A Panel Study of Firm Growth among SMSs in Networks. *Small Business Economics* 16: 293-302.

[18] García Lirios, C. (2013). La Red De Conocimiento En Una Universidad Con Sistema De Prácticas Profesionales Y Servicio Social. *Fundamentos En Humanidades*, 14(27), 135-157.

[19] BID (BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO). 2010. *The Age of Productivity: Transforming Economies from the Bottom Up*. PAGÉS, C. (Ed.). Washington, DC, Banco Interamericano de Desarrollo-Palgrave-Macmillan.

[20] Bergek, A., Staffan, J., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the Functional Dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37, 407-429.

[21] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2014). *La innovación en la agricultura. Un proceso clave para el desarrollo sostenible*. San Isidro: Costa Rica. Recuperado de [https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/Innovaci%C3%B3n\\_PP\\_es.pdf](https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/Innovaci%C3%B3n_PP_es.pdf)

[22] Gliessman SR; Rosemeyer ME (eds). (2010). *The conversion to sustainable agriculture: principles, processes, and practices*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group.

[23] Chiappe, M. B. (2001). Dimensiones Sociales De La Agricultura Sustentable. *Ediciones Científicas Americanas*, 61-76. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.docu->

[ments/46839103/DimensionesSocialesAgSust-Chiappe.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1549730680&Signature=46wErMW%2FuDc%2Fc%2B5RBs-KCWQxO%2F8%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DDimensi](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46839103/DimensionesSocialesAgSust-Chiappe.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1549730680&Signature=46wErMW%2FuDc%2Fc%2B5RBs-KCWQxO%2F8%3D&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DDimensi)

[24] Giraldo, O.F. (2018). *Ecología Política de la agricultura. Agroecología y posdesarrollo*. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.

[25] Aerni, P. (2015). Is agricultural biotechnology part of sustainable agriculture Different views in Switzerland and New Zealand. *The Journal of Agrobiotechnology Management & Economics*, 13(2), 158-172.



**Tierra,**  
*Medio Ambiente*  
**y Energía**

---

Ingeniantes

# Relación sociedad y energía en regiones con potencial eólico de México



## Colaboración

César Arturo Ramírez Dolores, Universidad Interamericana para el Desarrollo / Campus Coatzacoalcos; David Alejandro López Dolores Parque Eólico Oaxaca II y Oaxaca IV Acciona Energía; Gabriel Alfonso Jiménez Domínguez, Universidad Veracruzana / Campus Coatzacoalcos; Doreidi Lizeth García García, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa; Gerardo Alcalá Perea, Universidad Veracruzana / Campus Coatzacoalcos

**RESUMEN:** A partir de la relación aparente entre sociedad y energía, en este artículo se muestra la población mexicana con acceso al servicio eléctrico, con base en los datos publicados por el Sistema de Información Energética (SIE) en México, e información contenida en investigaciones actuales se hace una descripción integral de las entidades federativas con proyectos eólicos, la generación eléctrica bruta que las centrales eólicas proporcionan y se manifiesta un escenario teórico basado en el porcentaje aparente de energía abastecida con recurso eólico a las entidades que cuentan con proyectos que emplean esta fuente energética. Este análisis exhibe la influencia de la reforma energética (promulgada en el año 2013) en el desarrollo de proyectos energéticos alternativos a los hidrocarburos y los beneficios generados a la sociedad considerando el impulso del desarrollo sostenible para proteger al medio ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** Desarrollo social, Electricidad, Energía renovable, Población mexicana, Reforma energética.

**ABSTRACT:** Based on the apparent relationship between society and energy, this article shows the Mexican population with access to electricity, Based on the data published by the Energy Information System (EIS) in Mexico and information contained in recent research, a comprehensive description is made of the states with wind projects, the gross electricity generation that the wind power plants provide and a scenario is manifested theoretical based on the apparent percentage of energy supplied with wind resources to entities that have projects that use this energy source. This analysis shows the influence of the energy reform (enacted in 2013) in the development of alternative energy projects to hydrocarbons and the benefits generated to society, considering the promotion of sustainable development to protect the environment.

**KEYWORDS:** Social Development, Electricity, Renewable Energy, Mexican population, Energetic law.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos renovables, han sido objeto de estudio desde que el hombre ha manifestado un interés estricto por optimizar los procesos de generación de energía, este interés se ha maximizado debido a la preocupación de los gobiernos por el incremento en la explotación de las reservas mundiales de hidrocarburos, además de las pruebas que vinculan a la emergencia energética con los problemas climáticos que hoy en día enfrentamos [1] esta emergencia se ha visto influenciada por diversos factores como: el uso irracional de los recursos energéticos convencionales, la expansión de los entornos urbanos, fluctuaciones aleatorias en la precipitación anual, la migración social y el uso constante de combustibles en el transporte[2]. Hoy en día las investigaciones realizadas en materia de energías alternativas han creado líneas de investigación de

carácter mundial y los países han adquirido compromisos ambientales, estas investigaciones abordan aspectos y desarrollan estrategias benéficas desde las ciencias sociales, políticas energéticas, las ciencias de la tierra, la ingeniería en diversas ramas e incluso las leyes fiscales de materia energética [3], regidas bajo las aristas del desarrollo sostenible. Ante esta situación y considerando los compromisos ambientales hechos por México, en el año 2013 entró en vigor la reforma energética constitucional. Dentro de los objetivos fundamentales de esta, destacan dos, los cuales han permitido el crecimiento de las energías alternativas en los últimos años, estos objetivos son los siguientes: a) Atraer mayor inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país y b) Impulsar el desarrollo con responsabilidad social y proteger al medio ambiente [4]. Dentro del marco legislativo se proyectaron diversos beneficios tanto para la población, economía nacional y medio ambiente; uno de los beneficios que mayor atención ha captado es la sustitución de las centrales eléctricas más contaminantes con tecnologías limpias y gas natural. Bajo la premisa de este beneficio radica la exploración de potencial y explotación de los recursos energéticos renovables disponibles en México, dejando por un lado el gas natural, es conveniente mencionar que tan sólo el desarrollo de la industria energética basada en fuentes renovables ha tenido una aceptación regular en el país, sobre todo las tecnologías nuclear y eólica. En México la construcción y operación de centrales eólicas ha tenido un crecimiento progresivo, sin embargo, los problemas sociales también han sido participes para el desencanto de las empresas eólicas extranjeras, como para el mismo gobierno federal, denotando un desarrollo un tanto complejo y polémico [5], incluso se proyecta un freno al desarrollo de proyectos eólicos en el Istmo de Tehuantepec debido a los conflictos sociales, la participación de sindicatos irregulares y desigualdad ante los contratos de arrendamiento de terrenos ejidales [6]. Estos problemas afectan de manera directa a la comunidad regional en donde se ubiquen los proyectos, también afectan de manera negativa a la población que no cuenta con acceso al servicio de electricidad en el país. El objetivo de esta investigación se centra en analizar el comportamiento del consumo eléctrico en México y particularmente en las entidades federativas que cuentan con proyectos eólicos, así como determinar desde un enfoque teórico cual sería el aprovechamiento de este recurso como proveedor de electricidad en estos sitios para satisfacer la necesidad energética de la sociedad. Es importante enfatizar que mientras no se consiga una fuente de energía inagotable y amigable con el ambiente, si la sociedad mundial desea alcanzar el desarrollo sostenible no solamente se deben enfocar los esfuerzos en optimizar las formas de producción de la energía, sino también en mejorar los patrones de consumo [7]; tomando así, como líneas estratégicas: la reducción del consumo, el uso eficiente de la energía y la promoción de la transición a

fuentes renovables como una tarea de la sociedad en general; asumiendo que hay una tendencia global hacia la transición energética basada en recursos renovables de la que México no está exento.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo social se encuentra ligado al suministro energético, la mayor cantidad de procesos creados y aplicados por el hombre requiere de energía para su operación o como producto final, como ejemplo fundamental, se tiene la transformación de hidrocarburos a electricidad, otros ejemplos son: el aprovechamiento de la energía solar, eólica o geotérmica para convertirla en electricidad; el transporte público requiere de la energía de los combustibles para su funcionamiento, los procesos de secado de semillas y la refrigeración demandan energía [8] e incluso la operación de edificios contribuyen a una gran proporción en el uso final de la energía producida en el mundo [9] siendo estos últimos los espacios en donde la sociedad moderna desarrolla la mayor cantidad de sus actividades. Ante estos y otros escenarios las sociedades en conjunto con los gobiernos deben formar criterios que permitan las transiciones energéticas de lo convencional a lo alternativo, para continuar con el desarrollo e incluso propiciar la sostenibilidad en todas las actividades posibles. De acuerdo con las cifras disponibles y publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población en México se ha incrementado de manera significativa (Figura 1), en el periodo comprendido entre los años 2007 - 2018.

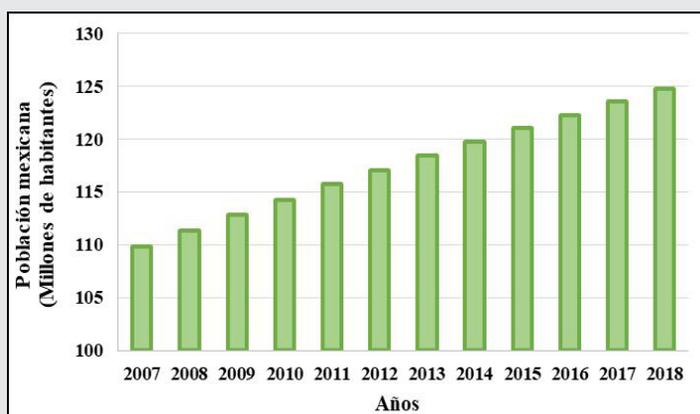


Figura 1. Crecimiento de la población mexicana. Fuente: INEGI 2020.

Considerando la información reportada por la Secretaría de Energía (SENER), se ha identificado que no toda la población mexicana cuenta con servicio de electricidad, aunque las proporciones de población sin servicio han disminuido notablemente a partir del 2010 (Figura 2) aún existen deficiencias para proveer a toda la población. Tan sólo en el periodo analizado (2007-2018) se incrementó el porcentaje de población con servicio, del 96.56% hasta el 98.75%. Siendo este incremento uno de los objetivos propuestos en la reforma energética Constitucional de México [11].

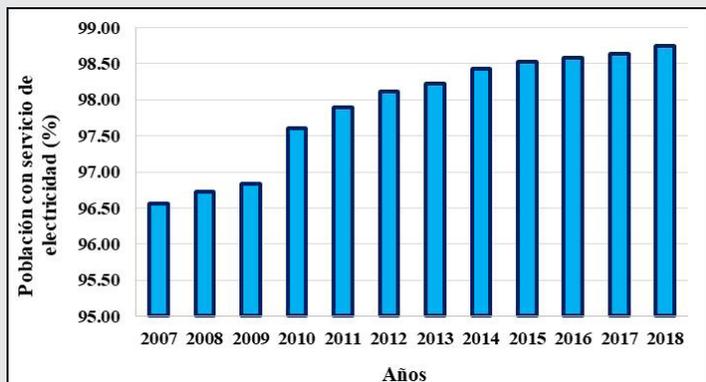


Figura 2. Población mexicana con servicio eléctrico. Fuente: SIE 2020.

## Desarrollo de las principales fuentes energéticas renovables en México

Diversas investigaciones han determinado que las fuentes de energía por recursos renovables, ofrecen beneficios sociales, ya que promueven el desarrollo regional al generar empleo, mejorar la calidad de vida en áreas aisladas, las cuales son comunes en México, permiten reducir los impactos ambientales y explotar las oportunidades de financiamiento para proyectos de energía limpia de organismos internacionales [12]. En México, este tipo de recursos energéticos se han adoptado de manera progresiva y de forma regular desde la perspectiva social, dentro de las características relevantes ante estas fuentes energéticas es que se cuenta con recursos suficientes para la generación de energía en diversas regiones, incluidas las altas montañas, extensiones desérticas, costa adentro y costa afuera [13]. Sin embargo, el aprovechamiento de las energías renovables debe conjugarse con la eficiencia y la educación energética, ya que son factores clave en el desarrollo sostenible de los países. Contextualizando en México, se han empleado programas de fortalecimiento en los últimos 10 años, así como la difusión de los movimientos de ahorro y eficiencia dentro del propio gobierno federal e instituciones educativas [14], [15], los premios nacionales de ahorro de energía y la promoción del uso masivo de colectores solares para el saneamiento de agua caliente son evidencia de la tarea que ha realizado el gobierno mexicano para el tránsito hacia una economía independiente a los combustibles fósiles [16]. La contribución a la generación de producción de energía por fuentes renovables aún es significativamente menor si se compara con la energía producida por combustibles fósiles, tan sólo hasta el año 2018 se cuantificó que el 20% de la energía producida en México provenía de fuentes de recursos renovables, de estas fuentes, quienes aportan al sistema eléctrico nacional son: geotérmica, eólica, hidroeléctrica y solar fotovoltaica con 6.4%, 5.1%, 88.4% y 0.04%, respectivamente [17].

Para los autores expresar el desarrollo de las energías renovables en México no implica sólo su contribución al sistema eléctrico nacional, también implica las aporta-

ciones que se han realizado para diversas áreas de investigación. Por lo tanto, hablar de recursos renovables permite también la denotación que estas fuentes han permitido construir al paso de los años y esfuerzos de los profesionales en materia. Tan sólo sobre el recurso geotérmico, México cuenta con un gran potencial, aunque no se ha explotado en su totalidad [18] si ha permitido el desarrollo de investigación trascendental como lo denotan los métodos para estimar temperaturas de formación en pozos geotérmicos y el desarrollo de simuladores computacionales para determinar propiedades térmicas de formaciones rocosas [19], [20]. Por otra parte, sobre la energía hidroeléctrica se tiene un mejor aprovechamiento para la conversión a electricidad, a lo largo de la extensión geográfica de México se han instalado complejos hidroeléctricos, en la actualidad se estiman más de cuatro mil proyectos distribuidos estratégicamente para aprovechar los saltos de agua [10]. El desarrollo de la energía solar fotovoltaica ha jugado un papel importante, diversos estudios indican que la posición geográfica del país es favorable para el aprovechamiento de la radiación solar, tan sólo en Sonora, Baja California Norte, Chihuahua y Sinaloa se ha estimado la mayor captación de radiación de alta calidad disponible en el país [21].

## Proyectos eólicos en México

Pensar en energías renovables nos hace imaginar los grandes molinos de viento empleados en la antigüedad para bombeo de agua, que hoy en día, bajo el estricto criterio energético nos lleva a los aerogeneradores, conocidos también como turbinas de viento. En México, se localiza el Istmo de Tehuantepec, región con reconocimiento internacional por la industria eólica, con el asentamiento de grandes empresas internacionales y un corredor eólico de gran envergadura, que acompaña al transporte terrestre en su recorrido en los límites de Oaxaca - Chiapas. La energía eólica es la tercera fuente de producción renovable en México, ha crecido significativamente con el pasar de los años, siendo uno de los principales sectores generadores de empleos directos e indirectos y una capacidad total instalada superior a los 6, 000 MW [22]. Adicionalmente, se han identificado diversas entidades federativas que cuentan con potencial eólico, estudios recientes indican un potencial significativo para la generación de electricidad por recurso eólico no sólo en el Istmo de Tehuantepec, también a lo largo del golfo de México [23], [13], la península de Yucatán, Baja California Sur, e incluso en la costa de Tamaulipas [24]. Considerando las cifras reportadas por la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), se ha estimado la explotación del recurso eólico en 14 entidades federativas de México (Figura 3), con presencia de empresas como General Electric, Siemens-Gamesa, Nordex-Acciona y Envision, por mencionar algunas.

Se estima que el desarrollo de proyectos eólicos en México impacta de forma positiva a la sociedad nativa

de los asentamientos beneficiados, generando fuentes de empleo, beneficios en infraestructura a los entornos urbanos y rurales, así como beneficios económicos por el alquiler de los espacios de construcción y paso de viento.

plantas procesadoras de hidrocarburos y sus derivados tuvieron un auge positivo que impactaron directamente en la creación de empleos directos e indirectos. De acuerdo a las cifras contenidas en el portal del [11] SIE (2020), se puede observar que, dentro de este periodo, en el año 2013 se tuvo la menor generación bruta por recurso eólico, con un estimado de 1813.90 GWh, mientras que en el 2018 se registró un incremento positivo con un estimado de 2707.20 GWh, en la Figura 5 se observa la generación bruta de energía eólica del 2013 al 2018.



Figura 3. Potencial eólico en entidades de México. Fuente: AMDEE 2018.

### RESULTADOS

La generación bruta de energía corresponde al suministro energético que se entrega a las redes de distribución, en este caso el suministro es por las centrales eólicas. En esta investigación se manifiesta una comparación en dos periodos significativamente importantes en la historia contemporánea de México, el primer periodo analizado corresponde al sexenio comprendido en los años 2007 al 2012 (Figura 4), un sexenio previo a la implementación de la reforma energética (aprobada en el 2013). Con base en las cifras reportadas en [11]. Se ha determinado que en este periodo el año 2010 fue en donde se generó la menor cantidad de energía por el recurso eólico con un estimado de 166.40 GWh, mientras que el 2012 manifestó un incremento, que se puede considerar el inicio de una tendencia mayor de generación bruta por recurso eólico.

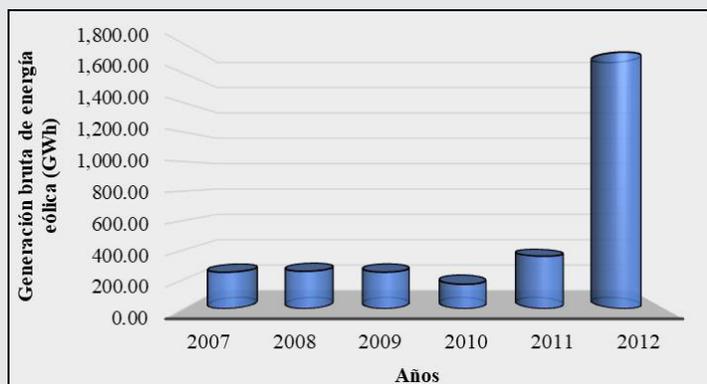


Figura 4. Generación bruta de energía eólica (2007 - 2012). Fuente: SIE 2020.

Por otra parte, en el sexenio 2013- 2018, hubo cambios significativos en materia energética en México. Tan sólo la apertura a empresas extranjeras para la construcción de centrales eólicas, la puesta en marcha de proyectos solares, eólicos, así como la rehabilitación de antiguas

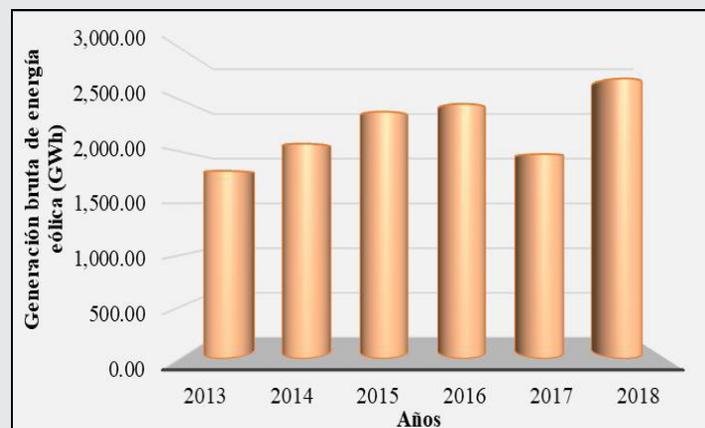


Figura 5. Generación bruta de energía eólica (2013 - 2018). Fuente: SIE 2020.

En el sexenio que va del 2013 al 2018 se obtuvo un incremento promedio de generación bruta de energía eólica del 77.50% comparado con el sexenio anterior. Denotando un incremento en la generación de energía a partir de la implementación de la reforma energética, apertura del mercado eléctrico mexicano a la inversión extranjera, así como la búsqueda por cumplir los requerimientos para ser parte de los países miembros de la Agencia Internacional de Energía (AIE). De acuerdo con la información proporcionada por la AMDEE, en México 14 entidades federativas de las 32 que conforman el país, cuentan con proyectos eólicos, sin embargo, previo a esta investigación no se ha analizado la tendencia sobre el consumo que la población de estas entidades realiza sobre la energía eléctrica, en la Tabla 1 se presentan los respectivos consumos promedio de electricidad de estas entidades desde el 2007 hasta el año 2018.

Como se muestra en la Tabla 1, Zacatecas es la entidad con menor consumo de electricidad en el periodo analizado y la entidad de Nuevo León es la de mayor consumo de electricidad de todo el conjunto con un total estimado de 16,411.61 GWh, siendo este último equivalente al consumo de cinco entidades federativas como: Zacatecas, Oaxaca, Chiapas, Yucatán y San Luis Potosí. La segunda entidad con mayor consumo corresponde a Jalisco, seguido de Guanajuato como la tercera entidad de mayor consumo.

1. Entidades federativas con proyectos eólicos en México.

Entidad Federativa	Consumo promedio de electricidad (GWh)
Zacatecas	2,355.88
Oaxaca	2,440.15
Chiapas	2,706.70
Yucatán	3,138.85
Quintana Roo	3,967.43
San Luis Potosí	5,369.26
Puebla	7,204.50
Tamaulipas	8,466.15
Baja California Norte	9,514.39
Coahuila	9,672.02
Sonora	9,849.16
Guanajuato	10,154.39
Jalisco	11,830.87
Nuevo León	16,411.61

Fuente: Modificado de SIE 2020

La media de consumo de todo el conjunto corresponde a 7,362.95 GWh, este valor permite caracterizar el conjunto de entidades federativas en una sola cifra para denotar el consumo promedio total de sujetos con potencial eólico en México.

Otra relevancia determinada en esta investigación es que las entidades que superan el consumo promedio se ubican del centro al norte del país, así como al este y oeste. Por otra parte, la entidad federativa de Oaxaca es la penúltima en orden de consumo eléctrico, con una media de 2,440.15 GWh, en esta existen diversos proyectos eólicos, incluso se tiene instalado el parque eólico Eurús, el más grande de América Latina con 167 turbinas de viento instaladas con la finalidad de abastecer el 25% de las necesidades energéticas de las plantas cementeras de Cemex [25].

El consumo promedio de electricidad de las entidades con proyectos eólicos, se presenta de manera gráfica en la Figura 6.

De acuerdo con los registros de la Secretaría de Energía, el consumo promedio de electricidad en las entidades con proyectos eólicos en el sexenio 2013 - 2018 tan sólo creció un 6.45% comparado con el periodo inmediato anterior (Figura 7).

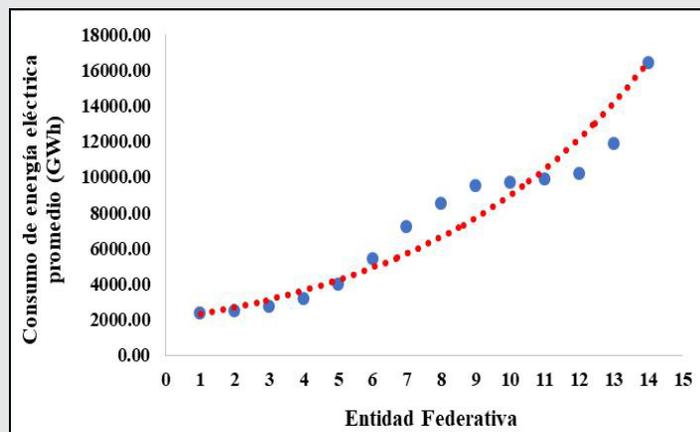


Figura 6. Consumo eléctrico en las entidades con proyectos eólicos. Fuente: SIE 2020.

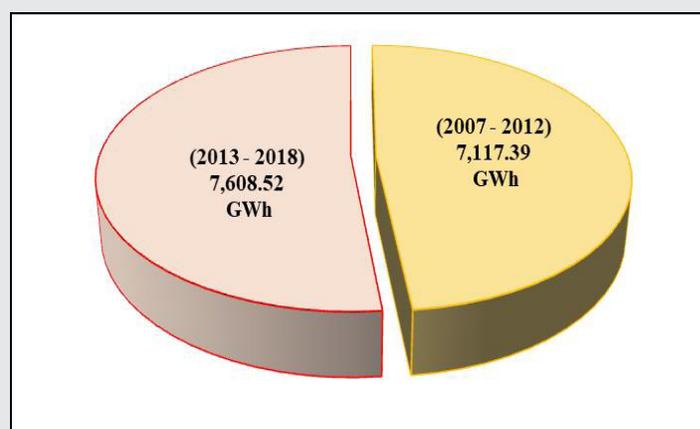


Figura 7. Consumo eléctrico promedio en las entidades con proyectos eólicos. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia en los consumos medios de electricidad fue de 491.12 GWh aproximadamente, sin embargo en el sexenio 2013-2018, el incremento en la generación bruta de energía eólica fue significativamente positiva, comparando entonces el incremento del consumo eléctrico de las entidades con proyectos eólicos y la generación bruta se puede inferir que el último sexenio analizado ha sido de beneficios tanto en materia energética como sociales, por los impactos colaterales positivos que la infraestructura energética eroga a la población. Considerando las entidades federativas descritas en la Tabla 1 y los periodos analizados (sexenios), se ha proyectado el total de la energía abastecida en estas entidades como una realidad teórica aparente, es decir: el porcentaje de energía que se puede abastecer a estas entidades, con base en la generación bruta de energía que se obtiene del potencial eólico (Figura 8). Este escenario teórico permite comprender con facilidad la razón de la reforma energética en un ejercicio administrativo posterior a su promulgación, en el sexenio en que esta reforma entró en vigor y se implementó la sociedad mexicana que no contaba con acceso a la electricidad disminuyó, esto en parte debido a la mayor generación energética por recursos renovables.

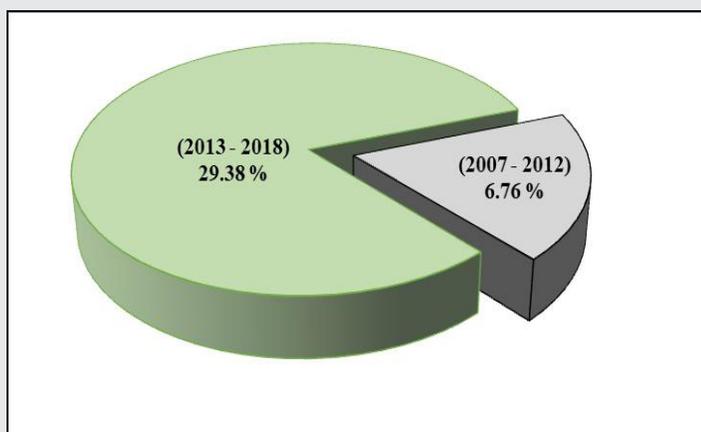


Figura 8. Energía aparente abastecida a las entidades con proyectos eólicos. Fuente: Elaboración propia

En el sexenio 2013 - 2018 se tuvo un incremento de 4.3 veces sobre la energía aparente que cubriría teóricamente el consumo energético de las 14 entidades federativas, esto indica que aprovechando el potencial eólico en las entidades e incluso ampliando las centrales de generación ya instaladas esta fuente energética puede contribuir de manera importante en satisfacer la demanda de la población de manera satisfactoria. En este último apartado se presenta de manera gráfica una de las aportaciones positivas que deja la reforma energética del 2013 a la sociedad mexicana, la generación de mayor energía a partir de las fuentes renovables es sin duda un resultado positivo que hace a México colaborador para lograr los objetivos del desarrollo sostenible mundial, sin embargo, es de considerarse la formulación de sanciones, seguimiento a las quejas y desarrollo de legislaciones que también permitan el respaldo de las organizaciones que se dedican a la exploración, instalación y operación de las centrales eólicas, esto con el fin de propiciar apoyo ante los conflictos sociales que ha tenido la construcción de los parques eólicos, así mismo, es importante también las legislaciones que permitan un equilibrio entre organización y sociedad, con el fin de respetar las garantías individuales y preservar un ambiente de cordialidad entre los involucrados.

## CONCLUSIONES

La gestión de la energía por parte de los gobiernos debe considerarse como elemento clave en sus procesos de mejora, la integración de los servicios energéticos a todas las comunidades. En México la participación social desde diferentes perspectivas ha aceptado de forma regular a las energías renovables, si bien es cierto la integración de estas a la infraestructura energética del país aún es menor comparada con las fuentes por hidrocarburos, se está logrando poco a poco una lucha contra el petróleo y los efectos negativos que de su explotación surgen. En los últimos años, la generación por recursos renovables ha incrementado su participación, causa de esto surge después de implementarse la reforma energética constitucional en el año 2013,

a su vez influyen los compromisos de México ante la Agencia Internacional de la Energía, así como la misma conciencia social quienes demandan una mejor calidad de vida como legado a sus futuras generaciones. Considerando la presencia del recurso eólico en México, se logró estimar la aportación de la energía generada a partir de esta fuente para satisfacer los consumos de la sociedad, partiendo de una comparación sexenal que permite observar el desarrollo de México en materia energética, así como determinar tendencias para lograr el tránsito hacia un sistema energético descarbonizado, si bien es cierto que la relación sociedad y energía es proporcional al crecimiento, es imperante encontrar un equilibrio que permita proveer lo necesario sin hacer un uso irracional como el que se hizo con los hidrocarburos. Como trabajo a futuro se espera integrar las otras fuentes renovables de energía en un análisis robusto y determinar la influencia que estas han tenido en México, específicamente en las entidades federativas que cuentan con proyectos para la generación de electricidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. De Dear, J. Xiong, J. Kim, and B. Cao, "A review of adaptive thermal comfort Research since 1998". *Energy and Buildings*, vol. 214, 2020.
- [2] M. Zhang, K. Zhang, W. Hu, B. Zhu, P. Wang, and Y. Wei, "Exploring the climatic impacts on residential Electricity consumption in Jiangsu, China". *Energy Policy*, vol. 140, 2020.
- [3] G. Schutzer. "Recent Tax Law Changes Create New Opportunities for Leasing Wind Energy Property". *The Electricity Journal*, vol. 23, 2010.
- [4] M. Aguilera, F.J. Alejo, J. E. Navarrete, and R. C. Torres, "Content and scope of the energy reform". *Economías UNAM*, vol. 13, 2016.
- [5] M.E. Huesca, C. Sheinbaum, and J. Köppel, "Social implications of siting wind energy in a disadvantage region - The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, 2016.
- [6] E. Zarate, R. Patiño, and J. Fraga, "Justice, social exclusion and indigenous opposition: A case study of wind energy development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico". *Energy Research & Social Science*, vol. 54, 2019.
- [7] G. Alcalá, M. Rivero, and S. Cuevas, "Effect of the magnetic field orientation on the damping of liquid metal free Surface waves in the processing of materials". *Applied Thermal*, vol. 75, 2015.
- [8] R. Best, J. M. Aceves, J. M. Islas, F. L. Manzini, I. Pilatowsky, I. Scoccia, and M. Motta, "Solar Coo-

- ling in the food industry in Mexico: A case study". *Applied Thermal*, vol. 50, 2013.
- [9] C. Ramírez, J. Andaverde, G. Alcalá, F. Velasco, and D. López, "A Review of the Techniques Used to Reduce the Thermal Load of Buildings in Mexico's Warm Climate". *Chemical Engineering Transactions*, vol. 81, 2020.
- [10] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020). *Presas 2009*. Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/presas.aspx?tema=T>
- [11] Secretaría de Energía (2020). *Sistema de Información Energética*. Recuperado de: <http://sie.energia.gob.mx>
- [12] Y. Cancino, E. Villcaña, A. J. Gutiérrez, and J. Xiberta, "Electricity sector in Mexico: Current status. Contribution of renewable energy sources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, 2010.
- [13] A. J. Perea, G. Alcalá, and Q. Hernández, "Seasonal Wind Energy Characterization in the Gulf of Mexico". *Energies*, vol. 13, 2019.
- [14] C. A. Ramirez, G. Alcala, J. A. Andaverde, M. D. Cardona, and D. Colorado, "Impact of the Thermal Load for a Library Model in a Rural Region of Tropical Climate in Mexico". *Chemical Engineering Transactions*, vol. 70, 2018.
- [15] D. Seifried, L. Fernández, and A. Ramírez, "Transforming the National Autonomous University of Mexico (UNAM) Into a Lighthouse - Project of Sustainability". *Energy Procedia*, vol. 57, 2014.
- [16] Y. Cancino, A. Gutiérrez, and J. Xiberta, "Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011.
- [17] Q. Hernández, A. J. Perea, and F. Manzano, "Wind energy research in Mexico". *Renewable Energy*, vol. 123, 2018.
- [18] G. Hiriart, and L. C. Gutiérrez, "Main aspects of geothermal energy in Mexico". *Geothermics*, vol. 32, 2003.
- [19] J. A. Andaverde, J. Wong, Y. Vargas, and M. Robles, "A practical method for determining the rheology of drilling fluid". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 180, 2019.
- [20] J. A. Wong, E. Santoyo, and J. Andaverde, "A 3-D wellbore simulator (WELLTHER SIM) to determine the thermal diffusivity of rock-formations". *Computers & Geosciences*, vol. 103, 2017.
- [21] C. Arancibia, R. Peón, D. Riveros, J. J. Quiñones, R. E. Cabanillas, and C. A. Estrada, "Beam solar irradiation assessment for Sonora, Mexico". *Energy Procedia*, vol. 49, 2014.
- [22] Asociación Mexicana de Energía Eólica (2018). *Parques eólicos en México*. Recuperado de: <https://amdee.org/mapas-eolicos.html>
- [23] Q. Hernandez, J. Garrido, F. Rueda, G. Alcalá, and A. J. Perea, "Wind Power Cogeneration to Reduce Peak Electricity Demand in Mexican States Along the Gulf of Mexico". *Energies*, vol. 12, 2019.
- [24] M. Carrasco, D. Rivas, M. Orozco, and O. Sánchez, "An assessment of wind power potential along the coast of Tamaulipas, northeastern Mexico". *Renewable Energy*, vol. 78, 2015.
- [25] Acciona Energía (2020). *Parque eólico Eurus*. Recuperado de: <https://www.accionamx.com/proyectos/energia/eolica/parque-eolico-eurus>



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Control químico de hidratos debido al incremento de agua presente en pozo de gas



## Colaboración

Carlos Alberto González Rodríguez; José de Jesús Ruíz Zamora; David Reyes González, Tecnológico Nacional de México / campus Misantla

**RESUMEN:** Este trabajo muestra el procedimiento genérico de un estudio de aseguramiento de flujo, utilizando simulación composicional, en un pozo de gas GNL-1, del Golfo de México, los escenarios simulados son en cuatro periodos de producción con cortes de agua del 5%, 10%, 15% y 20%, utilizando etilenglicol como agente químico anti aglomerante en dosis de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mol, el resultado muestra que la dosificación de 0.3 mol permite un control de la formación de hidratos en los cortes de agua al 5%, 10% y 15%, y en el periodo con corte de agua al 20% se requiere un incremento en la dosificación del agente químico a 0.4 mol. Se muestra que el control químico, además de la administración adecuada de las condiciones de operación, permiten una producción constante de gas en un periodo amplio de la vida productiva del pozo. Esto permite sugerir una viabilidad técnica para el desarrollo del sistema de producción.

**PALABRAS CLAVE:** Aseguramiento de flujo, control, corte de agua, gas no asociado, hidratos de gas.

**ABSTRACT:** This work shows a generic procedure to develop a Flow assurance study, using compositional simulation, in a gas well called GNL-1, located at Gulf of Mexico; the simulated scenarios are in four production periods with water cuts set as 5%, 10%, 15% and 20%, ethylen glycol is used as anti-agglomerant added in dosis of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 mol; results show that an ethylen glycol dosis at 0.3 mol lead a hydrate formation control for periods with 5%, 10% and 15% water cuts, and a 0.4 mol dosage is required at the period with 20% water cut. It's shown that a chemical control, in addition of a proper management of production conditions, let a constant gas production in a wide period in the productive life of the well, this suggest a technical viability when is applied in a developed production system.

**KEYWORDS:** Flow assurance, control, water cut, no associated gas, gas hydrates.

## INTRODUCCIÓN

En México, la producción de gas natural no asociado ha tomado mayor interés en el sector productivo ya que, de acuerdo a la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH), en los últimos años la producción de este combustible fósil ha incrementado en más del 20%, siendo los sectores: eléctrico, industrial y doméstico, los principales consumidores [1]. Con el propósito de cubrir la demanda actual, se han realizado actividades de exploración en nuevas zonas prospectivas, descubriéndose importantes yacimientos de gas en zonas de aguas someras y profundas del Golfo de México, presentándose condiciones extremas de operación, tales como alta presión y baja temperatura, que pueden generar problemas de aseguramiento de flujo tales como bacheos severos, arenamiento y deposición de ceras a lo largo del sistema de producción

[2], los cuales pueden ser controlados con un programa adecuado del manejo de las condiciones de operación.

Durante la vida productiva de un pozo de gas, debido al proceso de producción, el yacimiento de gas sufre un decaimiento de presión que puede resultar en la migración de agua hacia la zona productora, generando una producción de gas y fluidos condensados, acompañados de un corte de agua, que incrementa de forma gradual, a medida que se reduce la presión en el yacimiento. En esta etapa de la vida productora del pozo, la combinación de condiciones de operación, presión y temperatura, y corte de agua presente en los fluidos producidos promueven la presencia de nuevas fases sólidas, hidratos de gas, a lo largo del sistema de producción, que al depositarse reducen el área efectiva de flujo y pueden llegar a obstruir por completo el sistema [3]. Existen diversas alternativas para controlar la formación de hidratos en sistemas de producción de gas natural, destacando las siguientes: reducción de presión, eliminación mecánica, aplicación de químicos y aplicación térmica [4] [5] [6].

Un estudio de aseguramiento de flujo, dirigido al control de hidratos de gas, puede establecer la mejor alternativa de control que garantice una producción ininterrumpida, reduciendo la posibilidad de presencia de fases no deseadas a lo largo del sistema de producción. Estos estudios se llevan a cabo realizando experimentos en laboratorio, y también por medio de simulación composicional, utilizando modelos que describan la formación de hidratos de gas, evaluados a distintas condiciones de operación, diferentes cortes de agua y evaluando diferentes estrategias de control [7].

Este trabajo presenta un estudio del control de formación de hidratos de gas, en un pozo nacional, por la adición de etilenglicol como agente químico anti aglomerante, para evaluar la capacidad de control de la formación de hidratos durante la vida productora del pozo, a partir de la etapa de presencia de corte de agua y el incremento gradual de su presencia en el sistema de producción; esto con el propósito de identificar la factibilidad técnica de operar con una dosis de etilenglicol en un periodo amplio con variaciones de presencia de agua en los fluidos producidos en un pozo de gas natural. Regularmente, un estudio de aseguramiento de flujo, para evaluar la formación de hidratos tipo II en un sistema de producción de gas natural, considera llevar a cabo análisis experimentales, que son de alto costo y requieren demasiado tiempo; este trabajo presenta una adaptación simplificada de la metodología propuesta por Kaczarmarski [8], de manera simplificada, sustituyendo las actividades de laboratorio por modelos predictivos de comportamiento de producción y de formación de hidratos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología.

Un estudio de aseguramiento de flujo no puede considerarse como una metodología estándar, disponible, para

resolver los diversos problemas asociados a la producción, por la presencia de fases sólidas no deseadas o condiciones de operación que generen fenómenos de flujo que pongan en riesgo la integridad de las instalaciones y equipos, ya que cada problema de aseguramiento de flujo es particular y tiene sus propias causas de origen y sus propios efectos en el sistema, por ello, la forma de tratarlo siempre es particular; incluso en el caso de un mismo tipo de problema de aseguramiento de flujo (ej. formación de hidratos, deposición de asfaltenos, etc) cuando ocurre en pozos diferentes, las causas y efectos pueden variar a pesar de tratarse del mismo fenómeno, por lo que la forma de control igualmente debe ser particular. Sin embargo, se ha establecido una metodología genérica de trabajo asociada a un estudio de aseguramiento de flujo la cual considera, de manera muy genérica, las siguientes etapas [8]:

**1. Diseño base:** considera la descripción de las propiedades de los fluidos, el comportamiento a condiciones de yacimiento y perfil de producción. Involucra la realización de una serie de experimentos, de acuerdo al tipo de fluido y problema de aseguramiento de flujo asociado.

**2. Definición del sistema:** esta etapa involucra la definición de las instalaciones del sistema de producción, condiciones de operación y una o varias simulaciones base para definir la referencia de trabajo.

**3. Lógica operacional:** consiste en la identificación de las condiciones, evaluadas en la etapa 2, que promueven la formación de una condición no deseada de operación, y los requerimientos necesarios para establecer estrategias de control

**4. Modelado transitorio del sistema:** consiste en evaluar las variaciones temporales que existen en el sistema de producción debido a dos efectos principales, la evolución de las condiciones no deseadas de producción y el efecto de las estrategias de control consideradas a implementar en el sistema.

**5. Seleccionar la condición lógica de operación:** consiste en seleccionar la estrategia, técnicamente más adecuada, para controlar o mitigar la condición no deseada de operación.

**6. Optimizar el diseño de operación:** Esta incluye la estrategia de control.

### Diseño base.

El fluido considerado en esta investigación es un fluido que a condiciones de yacimiento se encuentra en fase gas. La tabla 1 presenta la información del fluido en consideración. De acuerdo a la información presentada, se puede observar que es un fluido con un elevado contenido de metano, y carente de ácido sulfhídrico, lo que representa una ventaja de producción, ya que no requerirá un proceso de endulzamiento de gas en superficie, y reduce la propensidad a la corrosión de los equipos e instalaciones. Adicionalmente, se puede observar la formación de fluido condensado en una zona muy cercana al yacimiento, ya que la presión de saturación y la presión de yacimiento se encuentran en el rango operativo de la zona de drene.

Tabla 1. Perfil del fluido GNL-1.

Composicional	
Componente	% mol
Nitrógeno	1.02
Dióxido de carbono	0.026
Ácido sulfhídrico	0
Metano	95.06
Etano	1.965
Propano	0.714
Butanos	0.369
Pentanos	0.157
Hexanos	0.158
Heptanos y más	0.53
Propiedades	
Gravedad API	42.2
Temperatura de yacimiento	333.65 K
Presión de yacimiento	35853000 Pa
Presión de saturación @Ty	34791000 Pa

Fuente: Elaboración propia

### Definición del sistema.

El yacimiento de gas natural GNL se encuentra localizado en la zona de aguas someras del Golfo de México, bajo un tirante de agua de 1337 m, y una profundidad perforada de 3200 m, para la cual se selecciona un pozo productor denominado GNL-1. La alimentación de fluidos de producción al pozo se localiza en dos zonas productoras, una a 3065 m de profundidad y otra a 3176 m, para lo cual se propone la instalación de un sistema de producción que incluye un pozo productor, una línea de transporte sobre el lecho marino (tie back) y de flujo vertical (riser) hacia una plataforma. Las características generales del sistema de producción propuesto se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Sistema de producción del pozo GNL-1.

Profundidad perforada	3200 m
Profundidad total	4537 m
Diámetro de tubería de producción	0.09957 m
Diámetro de tubería de revestimiento	0.15037 m
Longitud de tie back	2000 m
Diámetro de tie back	0.0762 m
Diámetro de riser	0.0762 m

Fuente: Elaboración propia

### Lógica operacional.

Con la información de las tablas 1 y 2, se describe el comportamiento de fases y producción del fluido en dos etapas, primero en ausencia de agua presente en el sistema, como se puede observar en la figura 1, y posteriormente con presencia de agua como se puede observar en la figura 2.

El equilibrio termodinámico en el sistema gas - aceite se modela utilizando la ecuación de estado de Peng Robinson [9]. Mientras que el equilibrio termodinámico de la fase de hidratos tipo II de gas se realiza utilizando el modelo de Platteeuw - van der Waals [10]. El comportamiento hidrodinámico de los fluidos producidos se simula con el modelo de flujo de Hagedorn - Brown [11], considerando el flujo de gas, aceite y agua.

La figura 2 muestra la modificación que existe en la relación de producción en un pozo de gas, por la presencia de agua en los fluidos producidos donde, de acuerdo al equilibrio termodinámico, las fases presentes pueden incrementar de dos (gas y aceite condensado) hasta cinco (gas, aceite condensado, agua, hidrato y hielo), dependiendo de las condiciones de operación establecidas en el sistema de producción. Con esta nueva relación de fases presentes, es posible observar que la línea de producción tendrá condiciones de presión y temperatura propicias para la formación de hidratos tipo II de gas en su interior, que propiciarán un problema de aseguramiento de flujo.

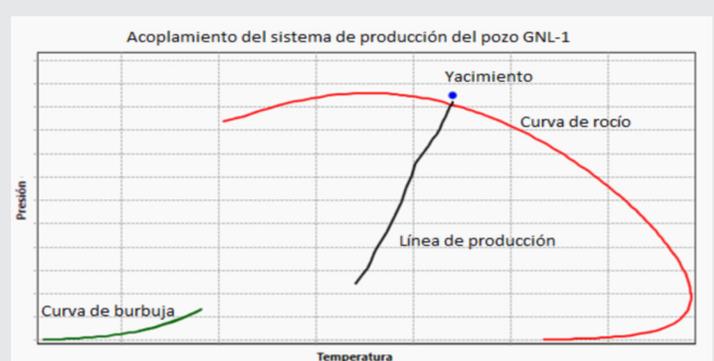


Figura 1. Diagrama de producción base GNL-1, sin agua.

Fuente: elaboración propia.

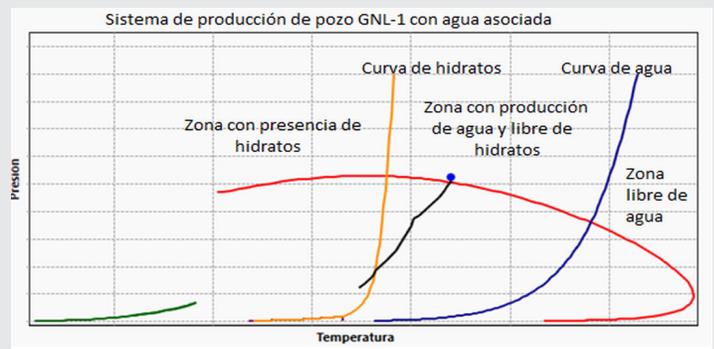


Figura 2. Diagrama de producción base GNL-1, con presencia de agua. Fuente: elaboración propia.

Con base a la información obtenida en las simulaciones base, se requiere realizar un análisis de las condiciones de control necesarias para mitigar la presencia de hidratos tipo II de gas en la línea de producción.

### Modelado transitorio del sistema.

En este trabajo, el efecto transitorio del sistema se considera indirectamente, esto es, se parte del supuesto que a medida que transcurre el tiempo o vida productiva del

pozo, existe un decaimiento de la presión en el yacimiento, propiciando el ingreso de agua en la zona de producción, generando que el corte de agua presente sea mayor conforme transcurre la vida productiva y agotamiento del pozo. Por lo anterior, se establecen 4 periodos de producción en función del corte de agua: al 5%, 10, 15% y 20%; en los que se evalúa el comportamiento de producción, y de las fases presentes; además, se modela el comportamiento del agente químico aplicado al sistema de producción, como control de la formación de hidratos tipo II. La figura 3 muestra el comportamiento de producción del sistema en los 4 periodos establecidos.

Comportamiento de producción constante en los 4 periodos de producción con corte de agua

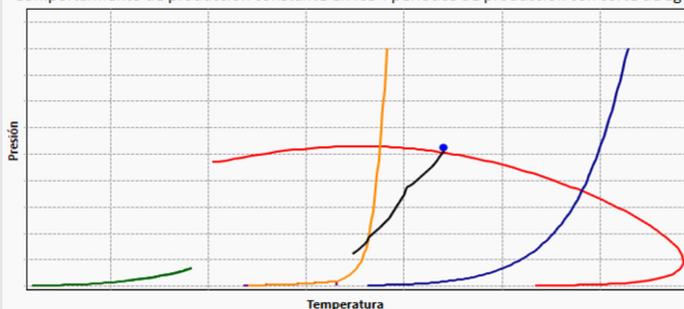


Figura 3. Comportamiento constante en los 4 periodos de producción establecidos: 5%, 10%, 15% y 20% de agua. Fuente: Elaboración propia

Se realiza un estudio del comportamiento del sistema de producción por la adición de un agente químico, en este caso etilenglicol. La tabla 3 muestra las propiedades físico-químicas principales del etilenglicol.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del etilenglicol.

Perfil del etilenglicol	
Fórmula	C2H6O2
Peso Molar	62.069 gr/mol
Temperatura de ebullición	470.5 K
Temperatura crítica	645 K
Presión crítica	7700000 Pa
Temperatura de fusión	260.32 K

Fuente: Reid, et al. 1987 [12]

El estudio relacionado considera el efecto de añadir dosis graduales de etilenglicol en el sistema de producción, que van de 0.1 mol hasta 0.4 mol, observando en cada dosis añadida como se modifica el comportamiento de la curva de formación de hidratos tipo II. El estudio se realiza tomando como casos de simulación composicional el efecto en el periodo donde existe el 5% de corte de agua presente en los fluidos producidos, las figuras 4 a 7 muestran el comportamiento de la curva de hidratos tipo II asociada al fluido estudiado, GNL-1.

En las figuras 4 a 7 se muestra cómo la línea de producción deja de entrar en la zona de hidratos tipo II, por el recorrido de la curva de hidratos tipo II debido al incremento gradual de etilenglicol, observándose que con dosis de 0.3 mol y dosis mayores, la línea de producción se encuentra libre de la formación de hidratos tipo II.

Comportamiento de producción con dosis de 0.1 mol de etilenglicol

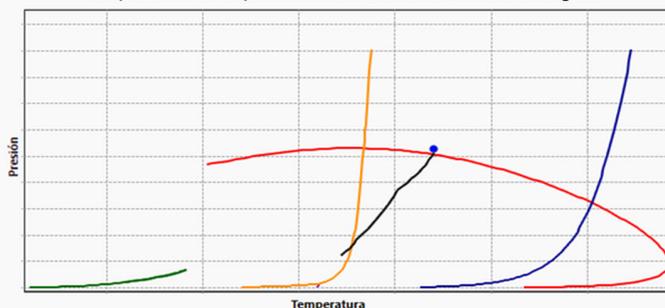


Figura 4. Comportamiento de producción con corte de agua de 5% y control de hidratos tipo II por dosis de 0.1 mol de etilenglicol. Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de producción con dosis de 0.2 mol de etilenglicol

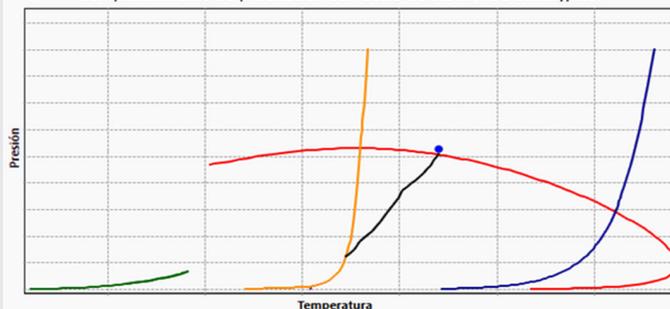


Figura 5. Comportamiento de producción con corte de agua de 5% y control de hidratos tipo II por dosis de 0.2 mol de etilenglicol. Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de producción con dosis de 0.3 mol de etilenglicol

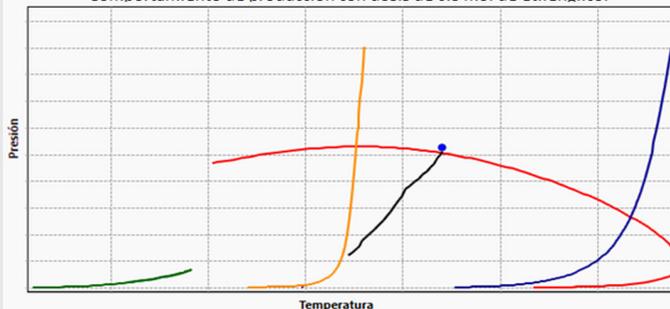


Figura 6. Comportamiento de producción con corte de agua de 5% y control de hidratos tipo II por dosis de 0.3 mol de etilenglicol. Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de producción con dosis de 0.4 mol de etilenglicol

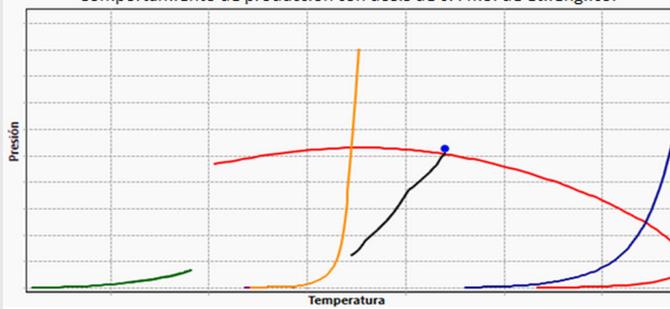


Figura 7. Comportamiento de producción con corte de agua de 5% y control de hidratos tipo II por dosis de 0.4 mol de etilenglicol. Fuente: Elaboración propia

La figura 8 muestra el comportamiento del perfil de producción del pozo GNL-1, en el periodo de producción con corte de agua del 20% y con dosis de etilenglicol de 0.3 mol, donde se muestra que, en similitud al periodo con corte de agua del 5%, esta dosis de etilenglicol es la mínima necesaria para que la línea de producción se encuentre en una zona libre de formación de hidratos tipo II de gas.

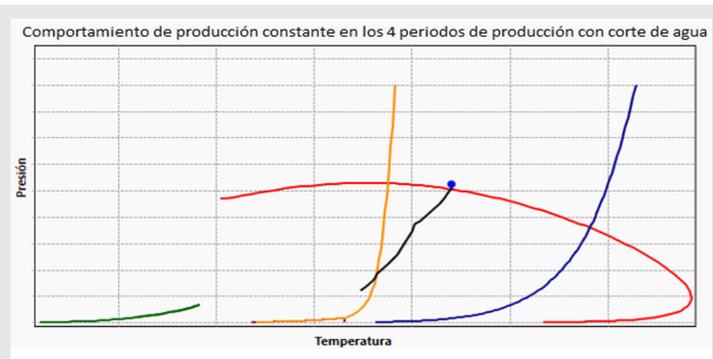


Figura 8. Comportamiento de producción con corte de agua de 20% y control de hidratos tipo II por dosis de 0.3 mol de etilenglicol. Fuente: Elaboración propia

### Selección de la condición lógica de operación.

Con la evaluación de los distintos escenarios de producción, en los 4 periodos propuestos y con las 4 dosis añadidas, se puede observar que a partir de añadir 0.3 mol de etilenglicol o dosis mayores, se tiene la garantía de mantener una producción de gas y condensado libre de la formación de hidratos tipo II, a pesar de la presencia de agua en el sistema y su gradual incremento. De acuerdo a los datos obtenidos de las simulaciones correspondientes, se observa que una dosis de 0.3 mol de etilenglicol mantiene al límite la formación de hidratos tipo II, por lo que se recomienda una dosis mayor para generar una condición de holgura en el intervalo de producción real y simulado, que permita establecer una mayor seguridad en la condición de no formación de hidratos tipo II.

### Optimizar el diseño de operación incluyendo la estrategia de control.

Con la información obtenida, es posible generar un plan de diseño del sistema de producción que considere la implementación de los equipos requeridos que permitan la dosificación de 0.4 mol de etilenglicol, de manera permanente, y los equipos apropiados de recuperación, acondicionamiento y retroalimentación del etilenglicol en el sistema de producción. En el caso que la instalación ya exista, la recomendación es realizar los paros programados de forma adecuada, para el acondicionamiento del sistema con el plan de rediseño necesario para implementar el sistema de alimentación de etilenglicol en el sistema de producción.

## RESULTADOS

A partir de la simulación composicional de los escenarios de producción, considerando los periodos de pro-

ducción con corte de agua y dosificación del agente químico anti aglomerante, en este caso etilenglicol, y con las adecuaciones correspondientes de las condiciones de operación, para conservar una producción de gas natural constante en el sistema, es posible definir el programa de operación y control del pozo productor. En la tabla 4 se muestra la relación de resultados de las distintas simulaciones de producción en los diferentes periodos y a las distintas dosificaciones de etilenglicol seleccionadas; en ella se muestra que, en todos los casos, existe una variación no significativa en la presión de fondo de pozo, lo cual permite que la producción de gas sea constante.

De la misma manera, en la tabla 4 se muestra el comportamiento de la formación de hidratos tipo II, en la cual se puede observar que para cortes de agua menores a 20%, una dosificación de 0.3 mol es adecuada para controlar la formación de hidratos tipo II. Sin embargo, cuando el corte de agua se encuentra en 20%, la dosificación de 0.3 mol representa el punto de equilibrio termodinámico, en el cual inicia la formación de hidratos tipo II, por lo que es necesario añadir una mayor cantidad de etilenglicol, resultando la dosis de 0.4 mol la adecuada para controlar la formación de hidratos tipo II en este periodo de producción.

De esta forma, es posible establecer un plan de desarrollo para el sistema de producción que considere la instalación de un sistema de inyección de etilenglicol, en el sistema, el cual no es necesario que esté en funcionamiento desde el inicio de la vida productora del pozo, pero si debe contar con las instalaciones que permitan la incorporación del sistema de inyección del agente químico, incluyendo los equipos de tratamiento y reacondicionamiento del etilenglicol para su reinyección al sistema.

Del proceso de simulación composicional, se puede definir que es posible lograr una tasa de producción constante de 1.52 m<sup>3</sup>/s de gas en un periodo amplio de la vida productiva del pozo, y que la incorporación de agua en el proceso de producción puede ser controlada satisfactoriamente mediante la inyección de un agente químico anti aglomerante, que prevenga la formación de fases sólidas no deseadas, hidratos tipo II de gas, que atenten a la producción continua en el pozo de gas GNL-1.

Con base a los resultados mostrados, es posible inferir, con la metodología simplificada propuesta, que es posible generar un estudio rápido de aseguramiento de flujo, a partir de información básica de los fluidos y sistema de producción, para establecer escenarios futuros de producción. Considerando las etapas de corte de agua como periodos de producción, y modelando el comportamiento del pozo. Con esta metodología, es posible también generar escenarios de producción, en los cuáles se analice el comportamiento del flujo de

gas y termodinámico de la formación de fases sólidas no deseadas; pudiendo extender esta propuesta de estudio a sistemas de producción de aceite.

Tabla 4. Resultados de todos los escenarios de producción del pozo productor de gas GNL-1.

Corte de agua (%)	Dosis etilenglicol (mol)	Presión de fondo de pozo (Pa)	Gasto de producción (m <sup>3</sup> /s)	Hidratos tipo II presentes
0	0	35076752.3	1.5298632	No
5	0.1	35070871.1	1.53337527	Si
	0.2	35073266.9	1.53019717	Si
	0.3	35075495	1.52718359	No
	0.4	35077660.3	1.52423228	No
10	0.1	35071506.7	1.53229569	Si
	0.2	35073839.6	1.52919919	Si
	0.3	35076046.8	1.5262315	No
	0.4	35078275	1.52321628	No
15	0.1	35072240.1	1.53120333	Si
	0.2	35074524.1	1.52814485	Si
	0.3	35076752.3	1.52515487	No
	0.4	35079134.1	1.52194334	No
20	0.1	35073329.7	1.52968556	Si
	0.2	35075564.9	1.52666969	Si
	0.3	35077862.9	1.52356991	Si
	0.4	35080153.9	1.52048128	No

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra un procedimiento genérico, para la realización de un estudio de aseguramiento de flujo, el cual permite establecer una guía de cómo trabajar, a pesar de tener conocimiento de la particularidad de causas y efectos de los diversos problemas de aseguramiento de flujo. Con este procedimiento genérico se verifica la importancia de desarrollar este tipo de estudios en los sistemas de producción, que se encuentran en planificación, y en los sistemas que ya se encuentran en operación, pues se ha demostrado que variaciones en las condiciones de operación, o la

naturaleza del fluido, pueden generar condiciones no deseadas de producción, por la presencia de fases sólidas.

En este trabajo se muestra también la importancia de desarrollar estudios basados en simulación composicional, que permiten predecir comportamientos del sistema, incluso antes de contar con las instalaciones físicas; esto apoya al desarrollo de un plan de trabajo integral, que considere los escenarios presentes y futuros, para el desarrollo y operación óptima de campos petroleros.

En el caso del pozo GNL-1, con la descripción composicional del fluido a producir, de la condiciones, presión y temperatura, del yacimiento, y de la configuración del sistema de producción, es posible establecer un estudio de aseguramiento de flujo que prediga el comportamiento del sistema en condiciones ordinarias de producción y a condiciones especiales de producción que prevean la formación de hidratos tipo II, para generar una estrategia de control adecuada.

Como trabajos futuros, como complemento a este trabajo, es necesario establecer un programa de simulaciones composicionales que consideren la presencia de otros agentes químicos anti aglomerantes, con el propósito de evaluar la capacidad de control de otras opciones de agentes químicos, además es necesario generar un estudio de factibilidad financiera para que, a partir del estudio de diversos agentes químicos y configuración del sistema, se seleccione el método de control que además de ser viable técnicamente, también lo sea económicamente.

## AGRADECIMIENTOS

El autor Carlos Alberto González Rodríguez, reconoce y agradece a CONACYT, por el apoyo económico, a través del Programa de Becas Nacionales de Posgrado, para el desarrollo de sus estudios de maestría, de los cuales deriva este trabajo desarrollado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CNH, *El sector del gas natural*, 2016
- [2] J. Bomba, D. Chin, A. Kak, W. Meng, *Flow Assurance Engineering in Deepwater Offshore - Past, Present, and Future*, OTC, USA, 2018.
- [3] G. Boyun, C. William, A. Ghalambor, *Petroleum production engineering. A computer assisted approach*, Elsevier Sci & Tech Book, 2007.
- [4] K. Kinnari, J. Hundseid, X. Li, K. M. Askvik, *Hydrate Management in Practice*, JCED, 2014.
- [5] A. A. Ghazal, F.K. Gad, M. S. Aawad, S. M. Desouky, E. S. Noamy, M.M. Dardir, *Thermal Insulation for Hydrate Prevention in Pipeline Design*, Egypt J. Chem. 59, No. 4, pp. 465-479, 2016.

[6] J-H. Sa, A. Melchuna, X. Zhang, M. Rivero, P. Glénat, A. K. Sum, *Investigating the effectiveness of anti-agglomerants in gas hydrates and ice formation*, *Fuel* 225, pp 1-14, 2019.

[7] Z. Wang, J. Zhang, B. Sun, L. Chen, Y. Zhao, W. Fu, *A new hydrate deposition prediction model for gas-dominated systems with free water*, *Chem. Eng. Sci.*, 162, pp. 143-154, 2017

[8] A. A. Kaczamarski, S. E. Lorimer, *Emergence of flow Assurance as a Technical Discipline Specific to Deepwater: Technical Challenges and Integration into Subsea Systems Engineering*, OTC, USA, 2001.

[9] D. Y. Peng, B. Robinson, *A new two-constant equation of state*, *Ind. Eng. Fundam.*, Vol 15, 1976

[10] J. C. Platteeuw, J. H. van der Waals, *Thermodynamic properties of gas hydrates II. Phase equilibrium in the system*. *Rec. Trav. Chem.*, Vol. 78, 1959.

[11] A. R. Hagedorn, K. E. Brown, *Experimental study of pressure gradients occurring during continuous two-phase flow in small diameter vertical conduits*, *J. Pet. Tech.*, AIME, vol. 22, No. 1, 1965.



# Sustentabilidad y Sostenibilidad

---

# Ingeniantes

# Detección de individuos en acceso principal | Phytton & OpenCV



## Colaboración

Uzziel Fuentes Enriquez, José Antonio Montero Valverde, Miriam Martínez Arroyo, José Francisco Gazga Portillo, Tecnológico Nacional de México / campus Acapulco

**RESUMEN:** La detección de individuos consiste en reconocer en imágenes obtenidas a través de un sensor (cámara) la presencia en tiempos diferentes del mismo individuo, esto mediante técnicas de visión artificial. A pesar de recientes avances en este campo, este problema aún permanece como un reto debido a que las imágenes obtenidas en algunas cámaras de video vigilancia (CCTV) suelen ser de baja calidad, presentan cambios en la iluminación, así como variaciones en las poses de las personas. Algunos métodos basados en aprendizaje profundo han alcanzado un notable avance en este tema, estos tienen como objetivo aprender las características. En la región de interés "RoI" en el acceso principal dada una imagen o secuencia de imágenes al ser tratadas y analizadas se puede lograr obtener aplicando con una metodología de visión artificial la detección en el acceso principal de la región de interés y de esta manera alertar oportunamente una posible situación de inseguridad.

**PALABRAS CLAVE:** CCTV, extracción de características, reconocimiento de patrones, RoI, seguridad, visión artificial.

**ABSTRACT:** The detection of individuals consists of recognizing in images obtained through a sensor (camera) the presence of the same individual at different times, this by means of artificial vision techniques. Despite recent advances in this field, this problem still remains a challenge due to the fact that the images obtained in some video surveillance cameras (CCTV) tend to be of low quality, present changes in lighting, as well as variations in the poses of people. Some methods based on deep learning have reached a remarkable advance in this subject, these aim to learn the characteristics. In the region of interest "RoI" in the main access given an image or sequence of images when treated and analyzed, it can be obtained by applying with an artificial vision methodology the detection in the main access of the region of interest and in this way promptly alert a possible situation of insecurity.

**KEYWORDS:** CCTV, feature extraction, pattern recognition, RoI, security, machine vision.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la necesidad de mejorar la seguridad en diferentes contextos de la sociedad actual, dan lugar al desarrollo de nuevo hardware y software informático empleando técnicas de detección automática basadas en rasgos biométricos. [1]

El tema de seguridad aplicando visión artificial es de gran interés para diferentes áreas de comunidades sociales y evidentemente la detección de individuos es fundamental, porque apoya a prevenir y combatir eventos como secuestros, asaltos, hurtos, incluso actividades clasificadas como de terrorismo que han mostrado la necesidad de desarrollar un método confiable para detectar a un individuo en tiempos diferentes y así evitar acciones que compro-

meten la seguridad, en este artículo se muestra mediante técnicas de visión artificial, algunos resultados alcanzados al detectar la presencia de un individuo en un acceso principal. [2]

Cuando se intenta llevar a cabo control de seguridad en un acceso principal mediante un sistema de visión artificial se plantea un inconveniente muy serio, la cantidad de información que se debe analizar para poder realizar la detección. Pues llevar a cabo acciones que para un humano pueden resultar excesivamente largas manualmente, mediante un sistema de visión artificial de toma de decisión y predicción automático se puede simplificar. [3]

Dadas las técnicas que existen en la actualidad de visión artificial, es posible pensar que se puedan usar algunas de ellas para ayudar con el desarrollo de un sistema. Los métodos de inteligencia artificial que tienen una mayor utilización son los sistemas expertos, a través de los cuales se pueden seguir las acciones que se deben realizar. Son importantes los métodos de clasificación, sobre todo para elegir de la información que se genera sólo aquella que sea adecuada para el análisis de la seguridad, entre los métodos de clasificación destacan los de redes neuronales ver figura 1. [4]

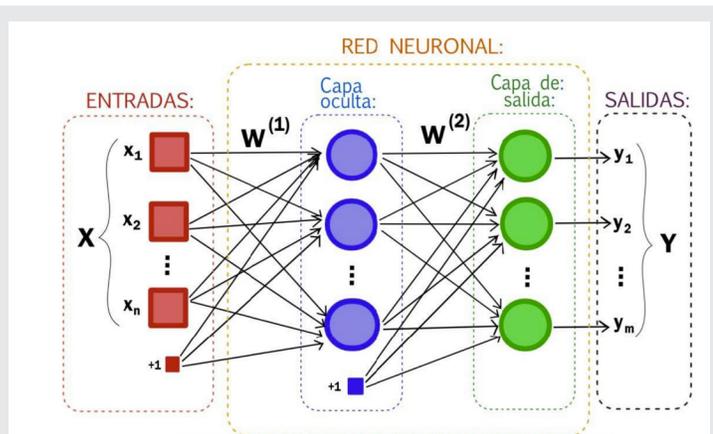


Figura 1. Red Neuronal, grafo dirigido.

Fuente:Z

Mientras tanto los sistemas biométricos son sistemas automatizados que permiten la identificación y verificación de individuos de forma rápida y segura, puesto que solo se analizan determinados patrones biométricos que no pueden ser alterados, manipulados, falsificados o robados para recrear información personal o acceder a la información de otros. [5]

Estos patrones son características tanto físicas como de comportamiento. Las huellas dactilares, la retina, el iris, los patrones faciales, de venas de la mano o la geometría de la palma de la mano, representan ejemplos de características físicas, mientras que en las características del comportamiento se incluye el reconocimiento de voz, firma, dinámica del teclado, cadencia del paso (pasión) y conducta gestual.

Todos estos son rasgos inherentes al individuo, es por ello que los sistemas inteligentes suponen una ventaja frente a sistemas tradicionales que suelen requerir información adicional como documentos de identidad, tarjetas de acceso, que pueden ser extraviados o robados provocando brechas de seguridad.

Para una correcta detección se deben obtener algunas características llamados descriptores y son de distintos tipos, estos se pueden centrar en diferentes características de las imágenes como color, tamaño, textura, borde. Para ello con OpenCv y Python, utilizando técnicas de visión artificial como HoG, DoG, PCA, SVM, RandomForest, Violas&Jones, etc. [6]

## MATERIAL Y MÉTODOS

Pese a que el problema en la detección de rostros es distinto a la detección de individuos, ambos tienen como objetivo detectar la RoI de la imagen obtenida por una cámara (sensor). En el primer caso, se tienen imágenes de rostros comúnmente en vista frontal con limitaciones como cambios de expresiones faciales, iluminación, maquillaje, envejecimiento, presencia de oclusiones tales como bufandas u objetos en frente, en el segundo caso (el de interés) se tienen muestras con variaciones en calidad dependiendo del clima, imágenes de cuerpo entero que posiblemente debido a la posición de la cámara el rostro podrá aparecer parcialmente o no ser enfocado. [7]

### Objetivos.

- Implementar sensores de trabajo que corresponde a la parte física, ver figura 2.
- Definir la orientación del sensor, en el caso del acceso principal, un ángulo correcto de captura como se muestra en la figura 3, donde la posición de la cámara procura abarcar la zona de acceso principal para detectar la RoI, debe estar ubicada a  $90^\circ$  y con un movimiento horizontal frontal de  $0 - 180^\circ$ , aunque la posibilidad del equipo es de  $360^\circ$  y para el análisis solo interesa una sola orientación momentáneamente como se muestra en la figura 3 al horizonte en  $90^\circ$  no mayor de  $45^\circ$  descendiente horizontal.
- Realizar distintas pruebas con diversas técnicas de visión artificial y distintos entornos siguiendo la línea Python y OpenCv.
- Obtener imágenes, pre-procesarlas, obtener descriptores, segmentar, etc.
- Discriminar zonas que no sean de interés, de este modo solo interesara poder detectar al individuo.

### Implementación del sensor de trabajo.

Para definir las características básicas de detección automática de la región de interés basado en las técnicas de visión artificial se deben seguir una serie de pasos importantes.

En el caso particular para la zona de acceso principal se implementó un sistema CCTV mediante cámaras PTZ instaladas en dos zonas estratégicas de la Unidad del Departamento de Investigación y Posgrado del Tecnológico

Nacional de México, Campus Acapulco (DEPI):

- Biblioteca
- Acceso principal (zona que interesa).

La implementación del CCTV mediante cámaras con sensores digitales Z-20A-2(IR) presenta las siguientes características técnicas que permiten la obtención de imágenes de estudio a realizar:

- E / S de alarma: 7 entradas / 2 salidas
- Soporte de CoC
- 4 en 1 (AHD / TVI / CVI / CVBS)
- Protocolo adaptativo PELCO-P / D.
- Recuperación de memoria.
- Control en tiempo real: llame a cualquier función en cualquier momento.
- Admite 255 posiciones preestablecidas.
- Menú OSD en inglés.
- Zoom proporcional.
- Función de volteo automático.
- Construido en protección contra rayos y sobretensiones.
- Motor pasó a paso avanzado para un movimiento más suave.
- Soporte Tour 4 grupos, 8 escaneo automático, 4 patrones y escaneo continuo de 360 ° y escaneo intermitente de 360°.
- El domo superior adopta una estructura de aleación de aluminio de 7 " para mejorar el tiempo de vida.



Figura 2. Ubicación de sensor en acceso principal.  
Fuente: Elaboración propia del autor.

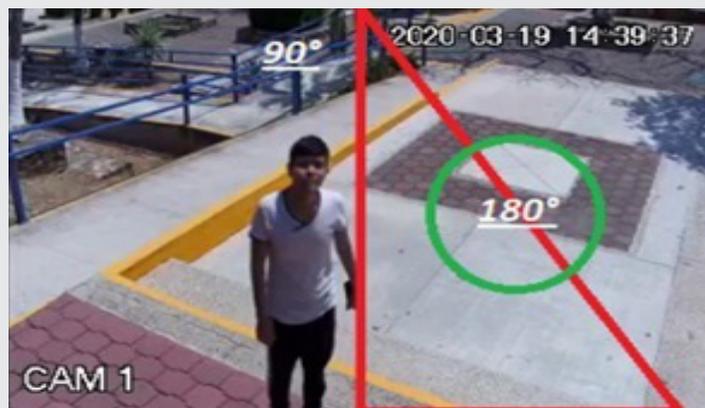


Figura 3. Orientación del sensor a la zona de interés.  
Fuente: Elaboración propia del autor.

Definidas las características necesarias para trabajar, entre ellas, el dispositivo de grabación, como se muestra en la figura 4, utilizando para el funcionamiento correcto, un DVR no NVK, en este se configura la calidad de la imagen con la que se va a trabajar, esto es muy importante pues dependerá de esto el % de la tasa de éxito al eliminar posible ruido desde un inicio en la entrada de dato para el procesamiento de la detección automática.

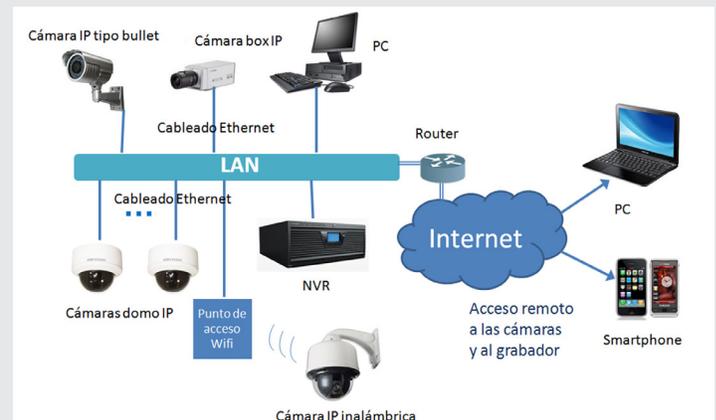


Figura 4. Diagrama genérico para DVR o NVK.  
Fuente: Manual de usuario DVR dahua.

Una vez optimizado el medio de captura se extraen las imágenes ya sea en video o imagen estática, de lo cual dependerá el grado de complejidad del proceso de detección automática.

### Metodología

Definida la imagen o imágenes en caso de un frame de video lo que procede es el tratamiento para mejorar posibles fallos en la calidad (esto no quiere decir que la imagen sea mala), uno de los principales pasos al iniciar a trabajar con una imagen  $f(x, y)$  es trabajar con la vecindad de píxeles y para ello es conveniente reducir a escala de grises para agilizar el procesamiento (ver figura 5), esto no es realmente necesario si se cuenta con un equipo de cómputo adecuado, pero definitivamente disminuye el tiempo de proceso.

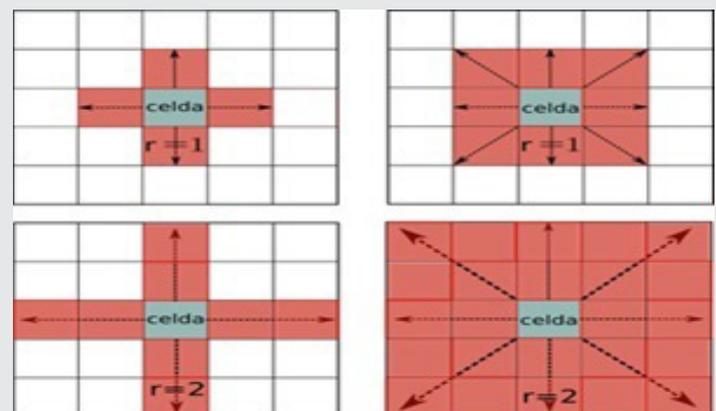


Figura 5. Vecindad para reducir imagen  $f(x, y)$ .  
Fuente: <https://naukas.com/2020/08/03/inteligencia-artificial-y-automatas-celulares/>

Cuando la imagen esta tratada para ser procesada lo que prosigue es definir ciertas características que pueden delimitar la región de interés como son la distancia entre extremidades y para ello se puede usar un bordeado (contorno) y realizar un Sobel ver figura 6. Los operadores de Sobel se pueden ver como la combinación unidimensional de diferenciación y cierto suavizamiento.



Figura 6. Discriminación de la zona de interés.

Fuente: Elaboración propia del autor.

Las características “descriptores” más comunes para delimitar o segmentar regiones son: intensidad de los pixeles, textura, color y gradiente. Una suposición importante, que normalmente se asume en visión de nivel intermedio, es considerar que pixeles de un mismo objeto comparten propiedades similares. Por ejemplo, al procesar una imagen de un limón, suponemos que el color de sus pixeles es aproximadamente homogéneo (verdoso).

En la vida real esto no es totalmente cierto, el color de los pixeles varía. Para evitar este tipo de variaciones es mejor considerar un color “aproximadamente” similar sobre una región más que a nivel pixel. Esto no es un problema sencillo, ya que es difícil distinguir las variaciones propias del objeto o por cambios de iluminación (suponiendo, cuando hay sombras en los objetos, retomar la figura 6), de las diferencias por tratarse de otro objeto.

En el análisis de los objetos “individuos” en imágenes es esencial poder distinguir entre los objetos de interés y “el resto”, normalmente se hace referencia a este último grupo como el fondo. Las técnicas que se utilizan para encontrar los objetos de interés (RoI) se refieren generalmente como técnicas de segmentación (segmentar el primer plano del fondo). El resultado de esta segmentación da como resultado una imagen binaria. Normalmente se utiliza la convención de que se le asignan el valor 1 a los pixeles que corresponden a objetos y el valor de 0 a los pixeles que corresponden al fondo. Como resultado de dicha segmentación, la imagen es partida en regiones y se conocen los bordes entre las regiones. [6, p. 2]

Uno de los operadores de Sobel se obtiene como el producto de un vector de diferenciación (D) por uno de suavizamiento (G): Sobel = DG T.

Donde  $D = (-1; 0; 1)$  y  $G = (1; 2; 1)$ . Esto reduce el efecto de aplicación del ruido que es característico de los operadores derivativos, por esto generalmente se prefiere el operador de Sobel.

Las técnicas clásicas de detección de orillas se basan en diferenciar a la imagen, esto es, encontrar la derivada respecto a los ejes  $(x, y)$ , o gradiente. El gradiente de una función  $f(x, y)$  se define como:

$$\nabla f = \left( \frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad \text{Ec (1)}$$

La magnitud del gradiente ( $\partial f$ ) se calcula como:

$$|\nabla f| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} \quad \text{Ec (2)}$$

De esta manera se puede discriminar la zona y lograr obtener los patrones de medida necesarios para definir el contorno o área del individuo. De modo que una vez obtenido este procesamiento ya sea mediante un análisis PCA o randomForest se logra reducir significativamente la imagen y así realizar una vez más un proceso en el cual ya se detectan las características “descriptores” que identifican mediante un clasificador el cual puede ser genérico o creado propiamente.

No esta de más mencionar que la reducción tomando el modelo básico RGB puede o no cambiar a escala de GRIS. [8]

Cada color se representa como un vector del origen y la diagonal principal corresponde a la escala de grises. En este modelo se basan las cámaras y receptores de televisión (TV). Sin embargo, se tienen problemas al aplicarlo a procesamiento de imágenes (ecualización) y visión (no-lineal).

Con todos estos datos se programa mediante OpenCv y Python la abstracción de la realidad y se realiza el análisis y detección de la región de interés. Mediante los patrones se puede clasificar, por eso es importante desde un inicio definir la región de interés a trabajar. Y de este modo se puede realizar una correcta segmentación. Que sirve para bordear la región y obtener la descripción.

El algoritmo recibe los datos de la imagen procesada, los identifica y decide lo que posiblemente puede ser. En algunos casos la sombra puede ser considerada como parte debido a que es una imagen simétrica reflejada, pero esto se corrige definiendo la de mayor tamaño (silueta).

Un sistema de visión artificial consta de forma general de un conjunto de subsistemas capaces de realizar las funciones de adquisición y análisis ver tabla.

Ahora bien, esto solo es la detección del individuo, la idea a futuro es detectarlo en tiempos diferentes [9], para ello se deben almacenar las imágenes y compararlas, si guardan similitudes es positiva y se re identifica al individuo en el acceso principal de manera “sospechosa” al aparecer en tiempos distintos en la zona.

Este proceso se describe de la siguiente manera, Entrada → Pre-procesamiento → Identificación → Base de datos → Re-identificación → Salida.

Describiendo los datos obtenidos mediante PCA se puede realizar una predicción usando la clasificación randomForest que es uno de los varios clasificadores, también con el uso de HOG. Finalmente decir que este proceso se puede representar de varias formas.

## RESULTADOS

Desde el inicio al discriminar la zona de interés, de este modo solo interesara poder detectar a individuos mediante características, figura 7.

Para poder realizar esta fase y poder evidenciar se realizó un pequeño set de imágenes tomadas del área del acceso principal que es de donde se obtiene la región de interés, ver figura 8.

Una vez teniendo las imágenes se procede a programar, para el proceso de detectar regiones en movimiento simplemente se comparan dos imágenes y se debe encontrar las diferencias entre ambas (resta).

Con este principio básico y lógico este algoritmo hace algo similar utilizando una serie de métodos y técnicas que lo optimizan y simplifica, ya que comparar pixel a pixel no sería viable ni óptimo.

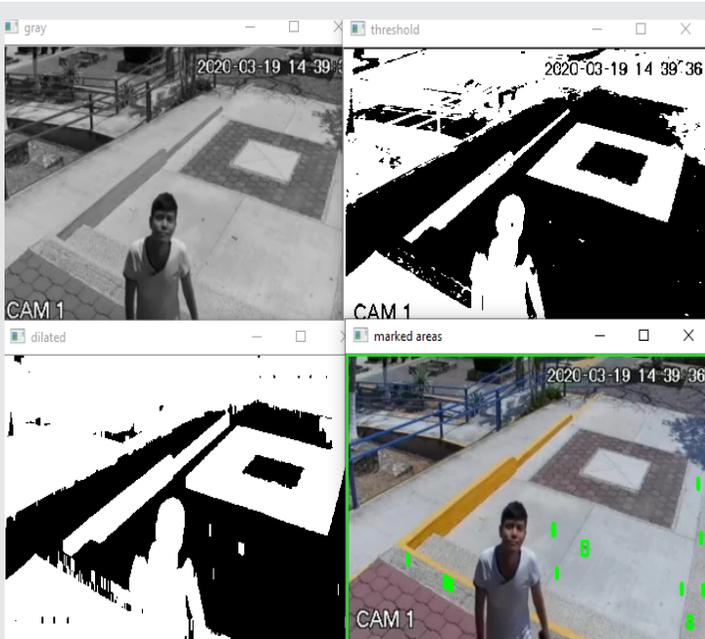


Figura 7 Discriminación de la zona para la región de interés. Fuente Elaboración propia del autor.



Figura 8. Set de 8 imágenes del acceso principal. Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 1. Información de una de las imágenes redimensionada. Fuente: Elaboración propia en Python.

Image Dimension	: (240, 352, 3)
Image Height	: 240
Image Width	: 352
Number of Channels	: 3

Por lo tanto los pasos realizados serán:

- Capturar una secuencia de imágenes como mínimo, ocho.
- Se transforman las imágenes a una escala de grises (esto mejora el rendimiento del proceso, dependiendo del equipo de proceso es su uso) figura 10.
- Se reduce la resolución de las imágenes previas para mejorar el rendimiento a la hora de “comparar imágenes” (imágenes con resoluciones altas hace que el proceso sea más lento) por ello importante aplicar la reducción de la dimensionalidad, tabla 1.
- Se analizan las imágenes para extraer características figura 11.
- Se analiza la zona y se identifica la región de interés o se toman en cuenta aquellas que tienen una cierta relevancia, por ejemplo, si cambian 5 píxeles, pues igual no sea relevante y se identifica al individuo, figuras 12 y 13.

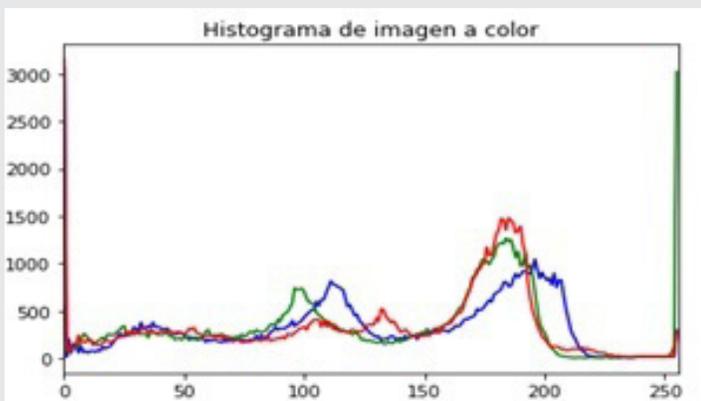


Figura 9. Histograma de canales RGB de la imagen analizada antes de transformarse a escala de gris. Fuente: Elaboración propia Python & OpenCv



Figura 12. Detección de individuos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Histograma en escala de grises intensidad lumínica y cantidad de pixeles. Fuente: Elaboración propia.

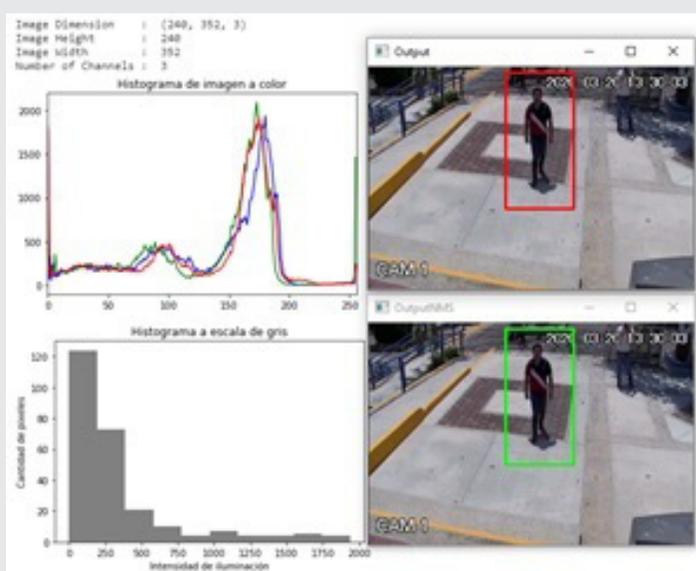


Figura 13. Detección de individuo. Fuente: Elaboración propia.

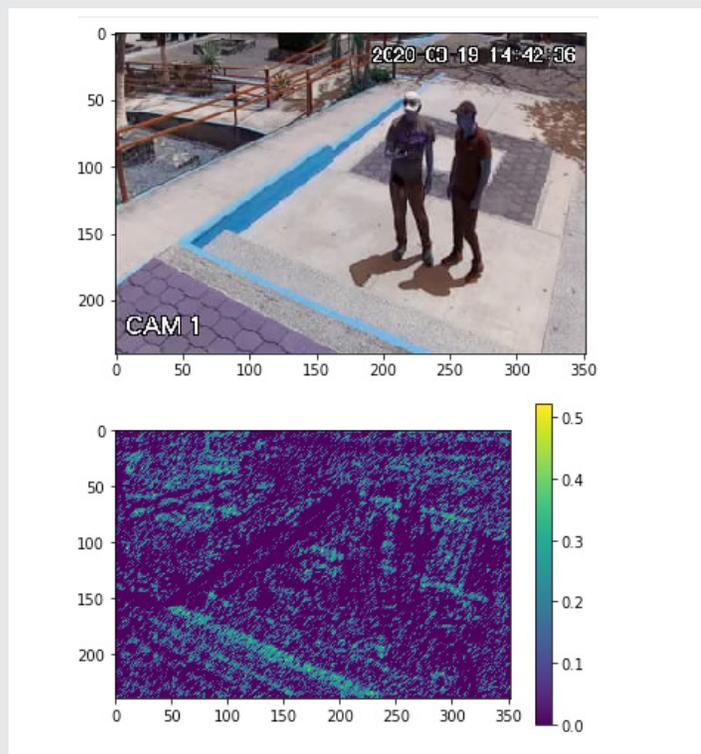


Figura 11. Aplicado HoG para conseguir características. Fuente: Creación propia del autor Python.

### AGRADECIMIENTOS

Al apoyo brindado por CONACYT, el cual ha permitido implementar un prototipo en el Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco, dentro del sistema de posgrado MSC DSI. Prototipo que para su fase final está contemplado para la STPS unidad regional Acapulco del estado de Guerrero.

### CONCLUSIONES

Se concluye que PCA antes de RF (randomForest) no es una gran ventaja, si es que la hay. La regresión de componentes principales (PCR) es, por ejemplo, cuando, PCA ayuda a regularizar las características de entrenamiento antes de la regresión lineal y eso es muy necesario para conjuntos de datos dispersos. Como randomForest "RF" en sí ya realiza una regularización (buena / justa) sin asumir la linealidad, no es necesariamente una ventaja. Bajo tales circunstancias, es una pequeña ventaja pre filtrar con PCA, para poder lograr una tasa exitosa en la identificación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Anil K, R. Arun A y N. Karthik, *Introducción a la biometría*, New Delhi, India: Springer US, 2012.
- [2] C. Gomez Cid, «<http://penta.ufrgs.br/>,» 24 08 2020. [En línea]. Available: <http://penta.ufrgs.br/>.
- [3] G. M. Marakas, *Decision support systems in the 21st century*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, ©2003.
- [4] A. Gonzáles Marcos, F. J. Martínez de Pisón Ascacibar, A. V. Pernía Espinoza, F. Alba Elías, M. Castejón Limas, J. Ordieres Meré y E. Vergara Gonzáles, *Técnicas y Algoritmos Básicos de Visión Artificial*, La Rioja, España.: Universidad de la Rioja España, ISBN 84-689-9345-X, 2015.
- [5] S. K. Modi, *Biometrics in Identity Management: Concepts to Applications*, Boston: Artech House ISBN: 1-60807-018-2, 2012.
- [6] A. Ramírez-Manzanares, *Reporte de Búsqueda, detección y conteo de objetos*, Apdo. Postal 402, Guanajuato, Gto., 36000, Mexico: Centro de Investigación en Matemáticas A.C, 2015.
- [7] D. Yi, Z. Lei, S. Liao y S. Z. Li, «Deep metric learning for person re-identification,» *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pp. 34-39, 2014.
- [8] M. A. Alonso Pérez y J. J. Báez Rojas, «Uso del sistema HSI para asignar falso color a objetos en imágenes digitales,» *REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 54 (2)* 186-192, pp. 186-192, 12 febrero 2008.
- [9] A. Ahmed Sekh, D. Prosad Dogra, H. Choi, S. Chae y I.-J. K. , «Person Re-identification in Videos by Analyzing,» *Multimedia Tools and Applications*, vol. 24537-24551, n° 79, p. 15, 23 Jun 2020.
- [10] «CERTSI, Blog, «La problemática de la biometría como medio de autenticación»,» [En línea]. Available: <https://www.certsi.es/blog/problematika-biometria-autenticacion>.
- [11] J. C. Moctezuma, *Neural Network toolbox de Matlab*, México: ciencias computacionales INAOE, septiembre 2006.
- [12] L. E. Sucar y G. Gomez, *Vision Computacional*, Puebla, Helmholtz Zentrum Munchen: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.
- [13] «Cuerpo Nacional de Policía, Sistema Automático de Identificación Dactilar – SAID,» [En línea]. Available: [http://www.policia.es/org\\_central/cientifica/servicios/id\\_identificacion.html](http://www.policia.es/org_central/cientifica/servicios/id_identificacion.html). [Último acceso: 2 noviembre 2019].
- [14] H. T y R. S, «Object identification in a Bayesian context,» *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pp. 1276-1282, 1997.
- [15] G. BATCHEN, *Arder en deseos.: La concepción de la fotografía*, Barcelona: Gustavo Gili, S.L., 2004.
- [16] L. C y . G. S., et al, *Person re-identi*, In Fusiello, A., Murino, V., et al.: *Computer Vision (ECCV)*, pages 391{401, 2012.



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Estimación de la carga mental de trabajo mediante minería de redes electroencefalográficas



## Colaboración

Alejandro Del Rey Torres Rodríguez, María Luisa Córdoba Tlaxcalteco, Leslie Imelda Callejas Dorantes, Pamela Stephanie Rivera Pérez, Arnulfo Gamaliel Hernández González, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

**RESUMEN:** La evaluación de los estados mentales de los usuarios de productos y servicios, es una aplicación de la Neurociencia a disciplinas como el Neuromarketing. Recientemente esta evaluación se basa en datos biométricos, buscando garantizar un principio de objetividad en el análisis. En trabajos previos se ha mostrado asociación entre la carga mental de trabajo, un estado cognitivo relacionado con el nivel de interés y concentración, y características espectrales de las señales electroencefalográficas (EEG). En este artículo exploramos el uso de una técnica de Minería de datos, llamada Análisis Longitudinal de Redes (ALR), como herramienta para estimar la carga mental de trabajo en individuos que realizan operaciones aritméticas. El objetivo es doble. Por un lado, mostrar que existen diferencias significativas entre las estructuras de redes EEG, cuando los sujetos se encuentran en reposo y cuando se encuentran realizando operaciones aritméticas. El segundo objetivo de este trabajo es identificar cuáles son los aspectos de las redes EEG que están relacionados con la eficiencia de los sujetos para procesar la información. Los resultados, aunque no concluyentes, son prometedores. Y representan un parteaguas en la evaluación de la carga mental de trabajo, ya que es la primera aplicación del ARL en este asunto.

**PALABRAS CLAVE:** Análisis de Redes, Electroencefalografía, Carga mental de trabajo, Neurociencias, Minería de Redes.

**ABSTRACT:** The assessment of mental states of users of products and services is an application from Neuroscience to subjects like Neuromarketing. This evaluation is recently based on biometric data, seeking to guarantee a principle of objectivity in the analysis. Some previous works have shown an association between mental workload, a cognitive state related to the level of interest and concentration, and spectral characteristics of electroencephalographic (EEG) signals. This work explores the use of a data mining technique, called Longitudinal Network Analysis (ALR), as a tool for estimating mental workload in individuals who perform arithmetic operations. The objective is twofold. On one hand, to show that there are significant differences between the structures of EEG networks, when the subjects are at rest, and when they are performing arithmetic operations. The second objective is to identify which are the aspects of the EEG networks that are related to the efficiency of subjects to process the information. Our results, although not conclusive, are promising. And they represent a critic point in the assessment of mental workload, since this is the first application of the ARL on the subject.

**KEYWORDS:** Network analysis, Electroencephalography, Mental Workload, Neurosciences, Network mining.

## INTRODUCCIÓN

En lo que sigue se presentarán los elementos del estudio de caso. Se utilizan los datos de una base de datos publicada en Internet. El concepto de carga mental de trabajo puede encontrarse en [2, 3]. La descripción del ALR se encuentra en [4, 5]

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Descripción de los datos y su preprocesamiento

Los datos utilizados se encuentran publicados en [1], y están contenidos en un archivo con formato EDF. Los datos se registraron de 4 sujetos sanos voluntarios de igual edad, todos los cuales son estudiantes del Centro Educativo y Científico "Instituto de Biología y Medicina", Universidad Nacional Taras Shevchenko de Kiev (Ucrania); las grabaciones están disponibles a través de la plataforma Physiobank. Corresponden a los registros de un electroencefalograma de 21 ca-

nales, con montaje del tipo "10-20". Los electrodos son FP1, FP2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, A1, A2, Fz, Cz y Pz. Cada grabación incluye segmentos de EEG libres de artefactos separados de 180 s para el estado de reposo y 60 s para conteo mental. El conjunto de datos se recopiló para investigar la correlación del EEG de la actividad mental, durante una tarea cognitiva intensa (tarea aritmética mental: resta en serie).

Para cada electrodo, está registrada una señal que consta de 1,179,000 registros, con frecuencia de muestreo de 500 muestras por segundo. En cada canal se utiliza la componente alfa (8-12 Hz). En este trabajo se analizaron los 3 minutos de reposo del registro, divididos en 10 ventanas de tiempo, y con una superposición entre ventanas del 25%. De manera similar, se analizó el primer minuto del periodo de cálculo aritmético, dividido en 10 ventanas de tiempo, con un traslape entre ellas del 25%.

**Descripción del ALR**

El AR que se aplica en este trabajo está inspirado en [6]. Primero se estima la matriz llamada Magnitude Square Coherence (MSC) como una medida de conectividad multicanal. Para explicarla, se considera que dada una frecuencia  $f$ , y dos canales  $x$ ,  $y$ , la coherencia MSC entre los canales  $x$  y  $y$  se define por:

$$MSC_{xy}(f) = \frac{|P_{xy}(f)|^2}{P_{xx}(f)P_{yy}(f)} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde  $P_{xx}(f)$  y  $P_{yy}(f)$  son las densidades espectrales de la función de autocorrelación de los respectivos canales, y  $P_{xy}(f)$  es la densidad espectral de la autocorrelación cruzada entre canales. Para el cálculo de las densidades espectrales se hace uso del método de Welch [7], donde la densidad espectral se calcula por:

$$P(f) = \frac{1}{f_s L_s U} \int_{-f_s/2}^{f_s/2} D_{xx}(\rho) |W(f - \rho)|^2 d\rho \quad \text{Ec. (2)}$$

$D_{xx}$  es la Transformada Discreta de Fourier de la función de autocorrelación de la señal,  $f_s$  es la frecuencia de muestreo,  $L_s$  es la longitud del segmento y  $U$  es una constante de corrección que hace a  $P(f)$  un estimador insesgado de la densidad espectral de la función de autocorrelación. Finalmente,  $W(f - \rho)$  es la ventana de Hamming centrada en la frecuencia  $f$ . La matriz MSC se calcula para la banda de frecuencia alfa (8-12 Hz). Como resultado de estos conceptos, la matriz MSC resultante es de 22 filas y 22 columnas. El uso de medidas espectrales lleva implícito el supuesto de que los canales son señales estadísticamente estacionarias. Por lo tanto, se realiza la división de las señales multicanal en ventanas de tiempo, con 25% de superposición. Como se utilizan 20 ventanas (10 en reposo, y 10 en actividad aritmética), en cada sujeto se obtienen 20 matrices MSC, con las dimensiones mencionadas previamente. Los parámetros a comparar entre sujetos son el coeficiente de agregación ponderado ( $C_w$ ) y el promedio ponderado de la longitud de ruta ( $L_w$ ). Para el canal  $i$ , el coeficiente ponderado de agrupamiento se define por:

$$C_i = \frac{\sum_{k \neq i} \sum_{l \neq i, l \neq k} w_{ik} w_{il} w_{kl}}{\sum_{k \neq i} \sum_{l \neq i, l \neq k} w_{ik} w_{il}} \quad \text{Ec. (3)}$$

con  $0 \leq w_{ij} \leq 1$ , la entrada en la fila  $i$ , columna  $j$ , de la matriz MSC. La medida global de conectividad de la red es el coeficiente de agrupamiento medio, que se define como:

$$C_w = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad \text{Ec. (4)}$$

Con  $N$  el número total de canales. Para el canal  $i$  y el canal  $j$ , la longitud ponderada de la trayectoria entre  $i$  y  $j$  (denotada por  $L_{ij}$ ) se define como la inversa de la entrada en la fila  $i$ , columna  $j$  de la matriz MSC. Esto es  $L_{ij} = 1/w_{ij}$  si  $w_{ij} \neq 0$ , y  $L_{ij} = \infty$  si  $w_{ij} = 0$ . El promedio de las longitudes ponderadas de todo el gráfico se calcula como:

$$L_w = \left( \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i, j=1}^N \frac{1}{L_{ij}} \right)^{-1} \quad \text{Ec. (5)}$$

De esta forma, por cada ventana temporal se calcula la pareja ( $C_w, L_w$ ), dando como resultado 20 parejas de parámetros de conectividad, ordenados en forma temporal. Los elementos básicos del análisis lineal estadístico, descritos por [8] son:

- Una variable de intervalo, con espacio de valores en toda la recta real, que cambia sistemáticamente a través del tiempo.
- La variable es medida en cada sujeto, en tres o más instantes del tiempo.
- Una unidad de tiempo relevante al fenómeno que se estudia, tomando en cuenta su cadencia y velocidad de cambio.
- El objetivo es describir estadísticamente la forma en que la población de sujetos cambia a través del tiempo, reflejado este cambio por la dinámica de la variable. En lo que se refiere al primer aspecto, la variable de intervalo es el logito de  $C_w$ , definido por [9]:

$$\text{logito}(C_w) = \log \left( \frac{C_w}{1 - C_w} \right) \quad \text{Ec. (6)}$$

O bien el logaritmo de  $L_w$ . Ambas transformaciones tienen la finalidad de obtener variables-respuesta en toda la recta real. Por lo que se refiere al segundo punto, la unidad de tiempo elegida es el logaritmo del número de ventana, que son 10 en cada periodo (reposo - actividad). De manera preliminar (aunque esto no es una limitante), se utiliza un modelo lineal como sigue. Sea  $Y$  la variable-respuesta, y  $X$  el instante del tiempo. El modelo lineal elegido es

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde  $\epsilon$  es una variable aleatoria normal con media cero y varianza desconocida. Los parámetros ( $\beta_0, \beta_1$ ) son el intercepto y la inclinación, respectivamente. La hipótesis sobre  $\epsilon$  es verificada mediante el histograma de los residuales estandarizados. El carácter jerárquico del análisis reside en la suposición de que las parejas de estimadores de máxima verosimilitud de ( $\beta_0, \beta_1$ ), son observaciones de una distribución normal bivariada. Este último aspecto será analizado en un informe futuro. El procesamiento de los

datos fue desarrollado en una interfaz elaborada específicamente para el ALR, en el entorno de programación Python.

## RESULTADOS

Las siguientes gráficas muestran algunos de los resultados obtenidos. Por ejemplo, en estas gráficas se muestran las redes obtenidas en un participante considerado poco eficiente en el cálculo aritmético. Se muestran 9 de las 10 ventanas de tiempo, durante el periodo de estado basal (figura 1), y durante la actividad aritmética (figura 2), para el mismo individuo. El cambio en las conexiones de las gráficas señala cambios en la conectividad topográfica de los electrodos.

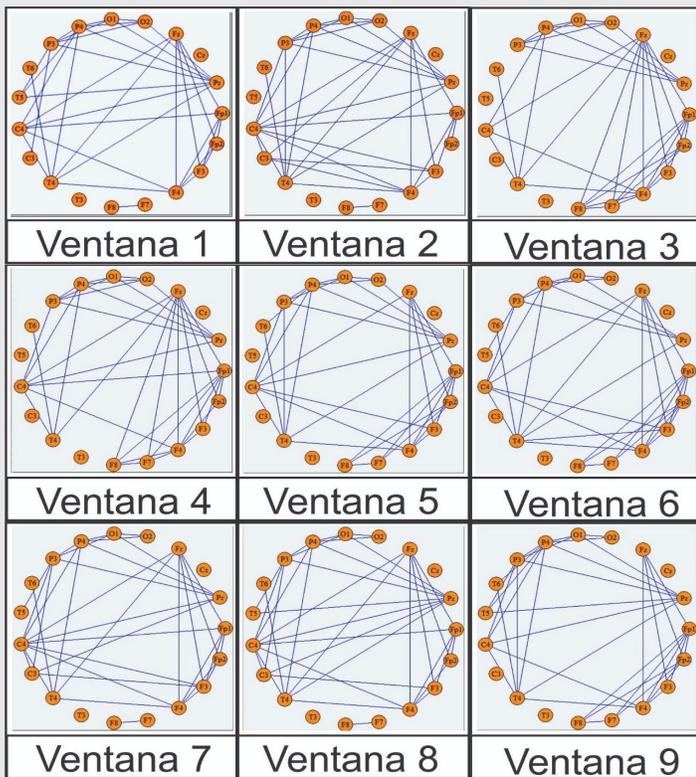


Figura 1. Gráficas de redes circulares con los datos EEG de un participante, durante el periodo de reposo.

Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos longitudinales del Coeficiente de agrupamiento  $C_w$  se presentan a continuación. En la figura 3 se muestra el logito de  $C_w$ , ecuaciones 4 y 6, en el periodo de reposo. Se aprecia el carácter casi estacionario de las 4 series de logitos. En la figura 4 se muestran estos valores, para el periodo de actividad aritmética. Se aprecia un incremento en los valores con respecto del estado basal, lo que se interpreta como una mayor conectividad de las redes, cuando la carga de trabajo es mayor. Esto es consistente con lo mostrado en las figuras 1 y 2.

A continuación, se muestran los gráficos del logaritmo de la distancia promedio ponderada  $L_w$ , ecuación 5. En la figura 5 se muestran los valores en el periodo de reposo,

y en la ecuación 6 los valores en el periodo de actividad aritmética. El contraste es nuevamente el carácter casi estacionario en el reposo, mientras que las actividades aritméticas introducen mayores variaciones en las distancias promedio entre canales o electrodos.

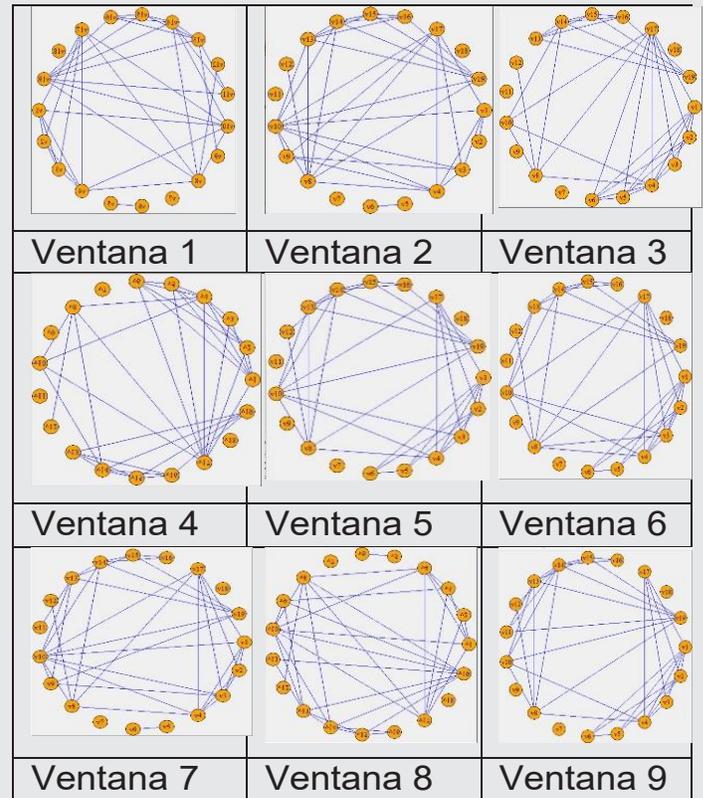


Figura 2. Gráficas de redes circulares con los datos EEG de un participante, durante el periodo de actividad aritmética.

Fuente: Elaboración propia.

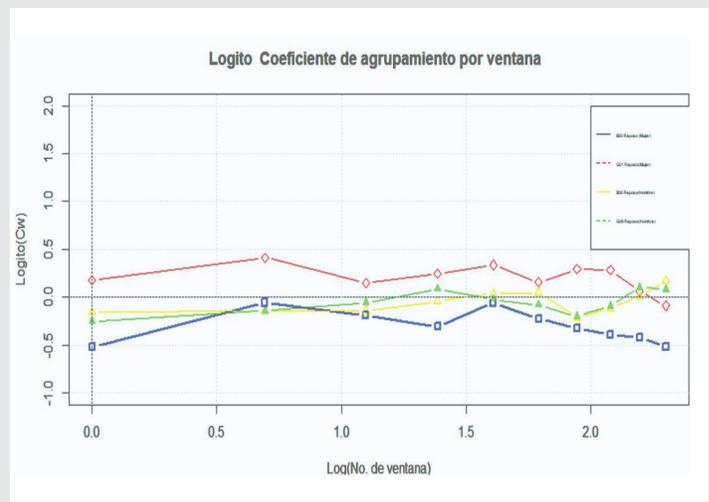


Figura 3. Logito de  $C_w$ , durante el periodo de reposo. La serie es casi estacionaria, en los 4 individuos.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ajuste del modelo de regresión, ecuación 7, se muestran en la Tabla 1. La letra B, por ejemplo B00, indica que el sujeto es catalogado como inhábil en Aritmética. Por el contrario, la letra G indica que el sujeto

es catalogado como hábil en Aritmética. Los resultados mostrados señalan que no hay diferencia apreciable en la conectividad de las redes EEG, entre los sujetos hábiles y los inhábiles.

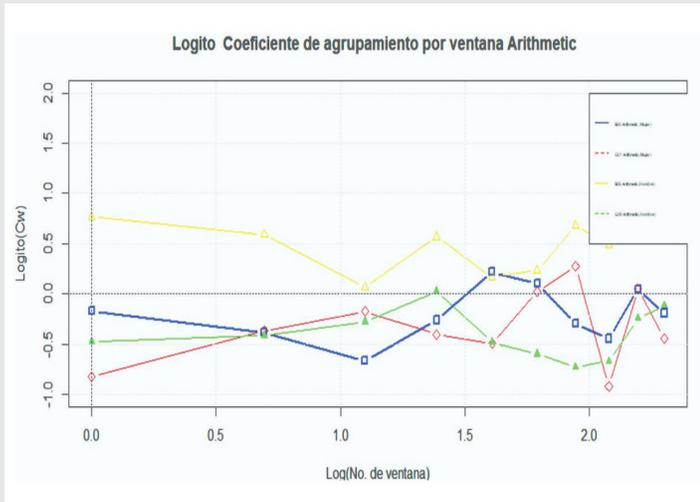


Figura 4. Logito de  $C_w$ , durante el periodo de actividad aritmética, en los 4 individuos. Fuente: Elaboración propia

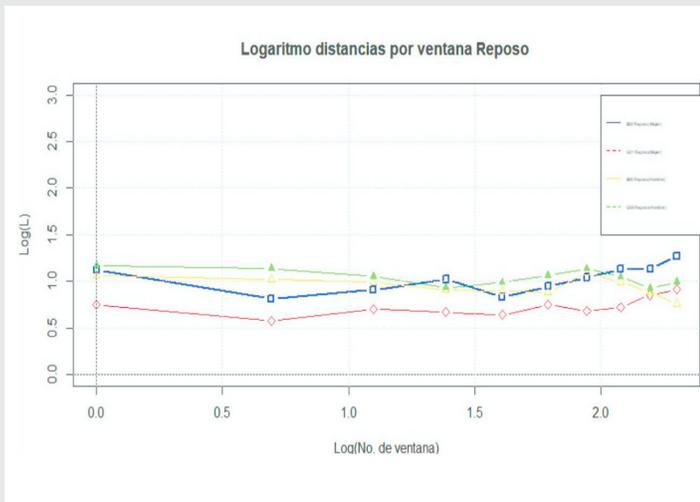


Figura 5. Logaritmo de  $L_w$ , durante el periodo de reposo, en los 4 individuos. Las series son casi estacionarias Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Datos comparativos del modelo de regresión ajustado. No se aprecia diferencia significativa entre los hábiles e inhábiles en Aritmética.

Sujeto	Logito( $C_w$ )		Log( $L_w$ )	
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_0$	$\beta_1$
B00 (mujer)	0.920	0.004	-0.499	0.498
G01 (mujer)	0.470	0.173	-0.298	0.177
B06 (hombre)	0.523	0.040	-0.507	0.796
G08 (hombre)	0.578	0.090	0.5167	0.834

Fuente: Elaboración propia.

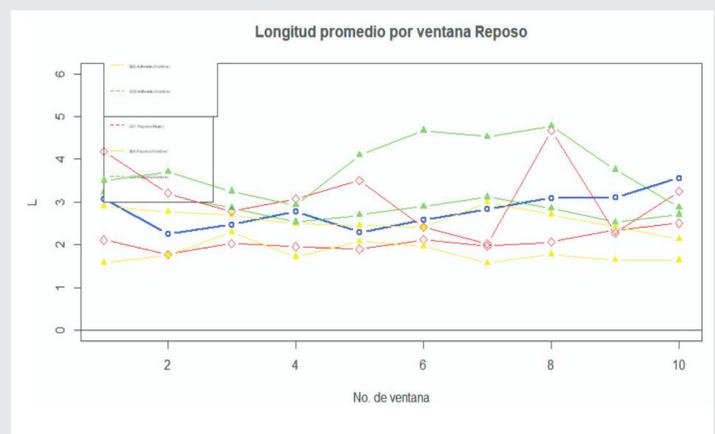


Figura 6. Logaritmo de  $L_w$ , durante el periodo de actividad aritmética, en los 4 individuos. La fluctuación es mayor, con respecto del periodo basal. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los supuestos estadísticos de los modelos de regresión son evaluados en las siguientes 2 figuras. Se aprecia que el caso de  $C_w$ , los supuestos del modelo de regresión son consistentes con los datos, no así en el caso de  $L_w$ , donde se aprecia una distribución de probabilidad no simétrica.

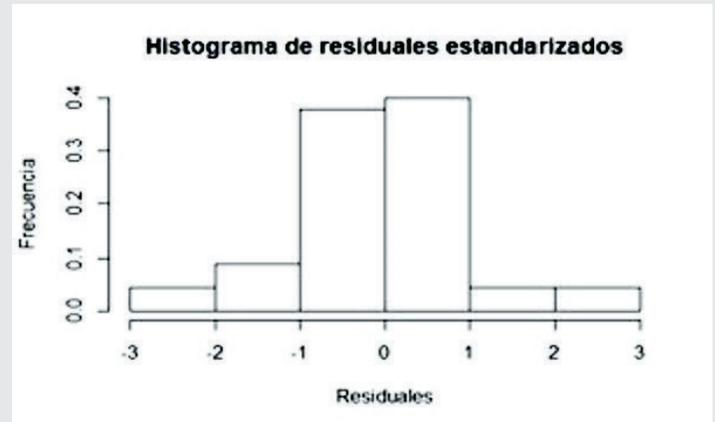
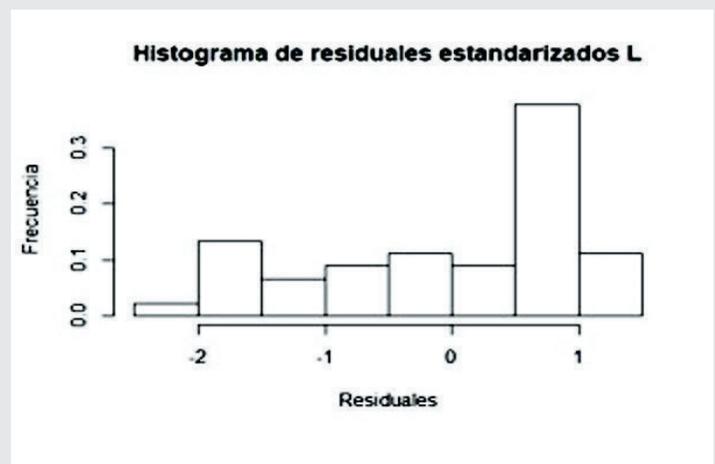


Figura 7. Histograma de residuos estandarizados en el modelo de regresión de  $C_w$ . Los supuestos del modelo son consistentes con los datos. Fuente: Elaboración propia.



regresión de  $L_w$ . Los supuestos del modelo no son consistentes con los datos. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Del análisis de los datos, se aprecia que los parámetros básicos de las redes EEG son diferentes en el reposo, y en la actividad aritmética. Esto sugiere que el uso del ALR para medir la carga mental de trabajo es una línea de trabajo para desarrollar en el futuro. Por otra parte, los resultados del modelo de regresión lineal no muestran que los individuos catalogados como hábiles (1 mujer y 1 hombre), sean diferentes de manera significativa a los obtenidos con los sujetos catalogados como inhábiles (1 mujer y 1 hombre). Desde el punto de vista de la evaluación de la concentración o nivel de dificultad de las tareas, esto es más bien oportuno, dado que la actividad de las redes no parece depender del nivel de adecuación individual, sino más bien corresponde completamente a la tarea.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Zyma, I., Tukaev, S., Seleznov, I., Kiyono, K., Popov, A., Chernykh, M., & Shpenkov, O. (2019). *Electroencephalograms during mental arithmetic task performance*. *Data*, 4(1), 14.

[2] Ghani, U., Signal, N., Niazi, I., & Taylor, D. (2020). *ERP based measures of cognitive workload: A Review*. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*.

[3] Iqbal, M. U., Srinivasan, B., & Srinivasan, R. (2020). *Dynamic assessment of control room operator's cognitive workload using Electroencephalography (EEG)*. *Computers & Chemical Engineering*, 141, 106726.

[4] Miers, A. C., Weeda, W. D., Blöte, A. W., Cramer, A. O., Borsboom, D., & Westenberg, P. M. (2020). *A cross-sectional and longitudinal network analysis approach to understanding connections among social anxiety components in youth*. *Journal of Abnormal Psychology*, 129(1), 82.

[5] Stone, J., Developers, N. T., Eargle, J., Sethi, A., Li, L., & Luthey-Schulten, Z. (2012). *Dynamical Network Analysis*.

[6] Alducin Castillo, J., Yáñez Suárez, O., & Brust Carmona, H. (2016). *Análisis electroencefalográfico de la conectividad funcional en habituación por teoría de gráficas*. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 37(3), 181-200.

[7] Parhi, K. K., & Ayinala, M. (2013). *Low-complexity Welch power spectral density computation*. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 61(1), 172-182.

[8] Raudenbush, S. W., & Bryk, A. S. (2002). *Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods (Vol. 1)*.

[9] Ashton, W. D. (1972). *logit transformation with special reference to its uses in bioassay*.



Ingeniantes®