



# Ingeniantes

Año 6, No.2, Vol. 2

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico de Colima

latindex

ISSN 2395-9452



Congreso  
Nacional de  
Ciencia e  
Innovación  
Tecnológica  
2019

**Edición Especial**

# Ingeniantes

Año 6 / No. 2 / Vol. 2

## Información Legal

**Ingeniantes**, año 6, No. 2, Vol 2. junio - noviembre 2019, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web [citt.itsm.edu.mx](http://citt.itsm.edu.mx). Editor responsable: M.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. Erika Adrienne Bandala Martínez, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 07 de diciembre de 2019.

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 red, serif font. The letter "i" is stylized with a vertical orange bar and a small orange circle above it, resembling a person or a stylized letter.

Noviembre 2019

## Directorio

**M.C. José Roberto Arenas Martínez**

Director General, ITSM, Veracruz, México

**Dr. Isidro Rodríguez Montoro**

Subdirector Académico, ITSM, Veracruz, México

**M.A. José Edgar Soto Meneses**

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

**C.P. Honorato Pérez Antonio**

Director de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

**Lic. Lidia Herrera Domínguez**

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

**Dr. Carlos Yossio Nakase Rodríguez**

Subdirector del Sistema Abierto, ITSM, Veracruz, México

## Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González, ITSM, México

Ing. Mayra Lizzeth Mendez Oloarte, ITSM, México

## Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, ITSM, México

## Distribución

Publicación electrónica disponible en

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

Correo electrónico: [revista.ingeniantes@itsm.edu.mx](mailto:revista.ingeniantes@itsm.edu.mx)

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

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

## Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

M.I.I. Erika Adrienne Bandala Martínez

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

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

Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT

Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT

Dr. José Luis Marín Muñiz, CV

Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ

Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ

Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ

Dr. Abel García Barrientos, UASLP

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET

Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON

Dr. Juan Carlos Gonzalez Hernández, ITM

Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNa

Dr. David Seldrán Sabater, UM

Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM

Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM

Dr. Saul Santiago Cruz, ITSM

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR

M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR

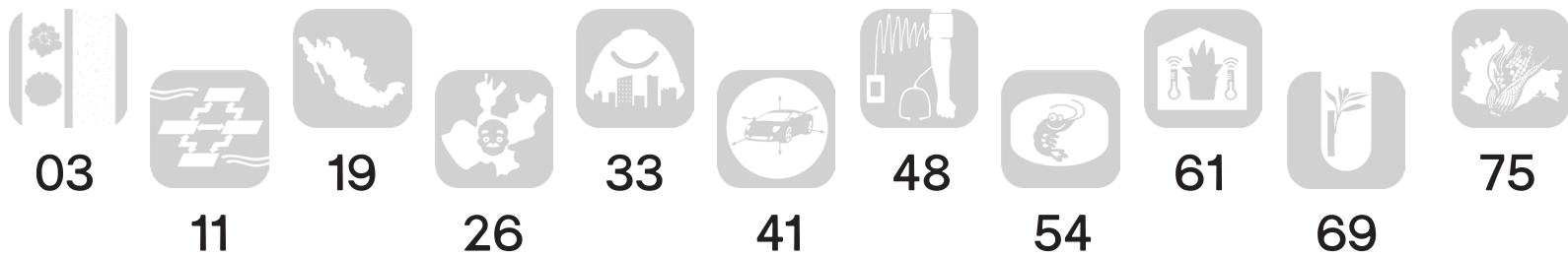
M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, ITSM

M.S.C. Irahan 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



Propuesta de implementación de una red de corredores verdes en zonas de actividades logísticas portuarias de Manzanillo, Colima \_\_\_\_\_ 03

Victor Valladares Vadillo, Instituto de Planeación para el desarrollo Sustentable de Manzanillo

Diseño de un cuadro de mando para la empresa Tuxpan Port Terminal mediante el uso del Balance Score Card \_\_\_\_\_ 11

Guillermo Benítez López; María de los Angeles Valdez Pérez; Margarita Cruz Chavez, Instituto Tecnológico Superior de Naranjos

Activos ambientales y productividad como estrategia de crecimiento económico en México \_\_\_\_\_ 19

Yesenia Juárez Rivera; Marco Polo Santos Almeйда; Irbin Salomón Zavaleta Arellanes; Raúl Aguilar Rivera, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Un análisis del sistema de pensiones de los gobiernos subnacionales. Caso Tonila, Jalisco \_\_\_\_\_ 26

Martha Rocío Chávez Guzmán; Elvia Lorena Torres Alejandre; Samantha Castillo Cárdenas; Jesús Armando Cortés López, Instituto Tecnológico de Colima

Plan de Mejora para incrementar la Satisfacción Laboral Caso de estudio Industria de la construcción Grupo Firme de México S.A. de C.V. \_\_\_\_\_ 33

Isela Margarita Robles Arias; Alan Alexis Bañales Sánchez; Raquel Valdez Guerrero; Graciela Guadalupe Ríos Calderón, Tecnológico Nacional de México / Campus Instituto Tecnológico de La Paz

Controlador activo lineal de tres grados de libertad aplicado al vehículo en Matlab-Simulink-Scilab \_\_\_\_\_ 41

Sergio Sandoval Pérez; Sergio Cuevas García; Luis Alfonso García Mendoza, Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán; Christian Quiroz Hernández, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tamazula; Hugo Antonio Méndez Guzmán, Universidad Politécnica del Bicentenario

Prototipo para la evaluación de algoritmos de estimación de presión arterial por el método oscilométrico \_\_\_\_\_ 48

Heriberto Alvarez Contreras; Ramón Chávez Bracamontes, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón \_\_\_\_\_ 54

Jesús Alberto Verduzco Ramírez; Patricia Elizabeth Figueroa Millán; Juan de Dios Barajas Corona; Elena Elsa Bricio Barrios; J Reyes Benavides Delgado, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

Sistema inalámbrico portátil de bajo costo para monitoreo de las variables temperatura y humedad relativa en un invernadero \_\_\_\_\_ 61

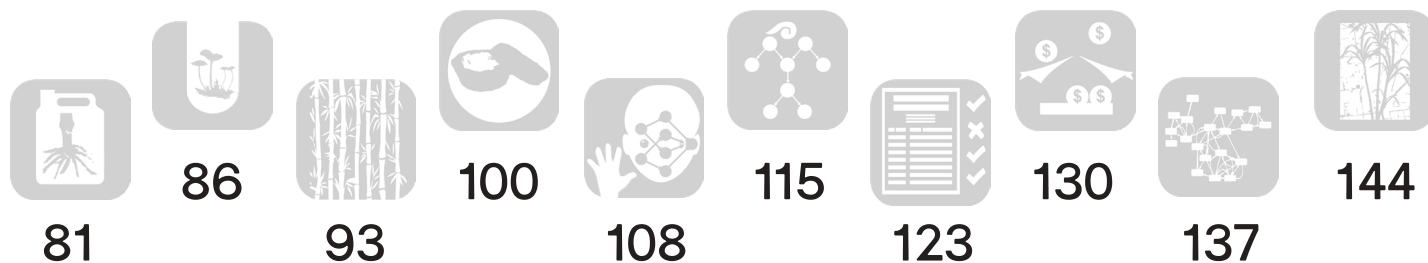
José de Jesús García Cortés; Gustavo Chávez Orendain; Erick Yovanny Fajardo Gómez; Jesús Rafael Sahagún Benítez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

Evaluación de antioxidantes en el cultivo in vitro de especies de bambúes nativos de México \_\_\_\_\_ 69

Gabriela Orozco Gutiérrez, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Tecomán

Análisis de la actividad enzimática de peroxidasas en maíces nativos de Oaxaca infectados por *Aspergillus parasiticus* \_\_\_\_\_ 75

Carlos Francisco Varapizuela Sánchez; Marco Antonio Sánchez Medina; Alma Dolores Pérez Santiago, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca



Efecto de hongos formadores de Micorriza arbuscular (hma) con fertilización en caña de azúcar, en Tepalcatepec Michoacán _____	81
Del Val Díaz Ramón, Unidad de Servicios Biotecnológicos (USB) Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 70, Valencia Maldonado Julissa Gómez Leyva Juan Florencio, Instituto Tecnológico de Tlajomulco de Zúñiga, Gómez Sánchez Luis Enrique; Preciado Sánchez Víctor Manuel, Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán	
Evaluación fitoquímica del cultivo in vitro del hongo <i>Laccaria laccata</i> _____	86
Baleria María Hernández Chávez; Alma Dolores Pérez Santiago; Iván Antonio García Montalvo Marco Antonio Sánchez Medina, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca; María del Socorro Pina Canseco, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	
Adaptabilidad del bambú en el municipio de Comala: un recurso forestal no maderable _	93
Víctor Manuel Guevara Aguilar; José Ricardo Moreno Peña; Santiago Arceo Diaz; Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Colima, Rogelio Cesar de Lira Fuente, Consejo Colimense del Bambú	
Prototipo de urna funeraria ecológica elaborada con fibra de coco _____	100
Alondra Izamar Llamas Flores; José Luis Vázquez Banda; José Javier Balderrama Casillas; Jorge Mauricio Reyes Ramirez, María Cristina Pedraza Marín, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Colima	
Diseño y desarrollo de un módulo del estudiante de un sistema tutor inteligente, mediante la detección del estado de conocimiento y estilo de aprendizaje basado en redes bayesianas __	108
Sayuri Vianney De la cruz Ramos; Miriam Martínez Arroyo; José Antonio Montero Valverde; Eloy Cadena Mendoza, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Acapulco	
JLEFO: una herramienta para el aprendizaje de lenguajes y autómatas _____	115
Ofelia Gutiérrez Giraldi; Martha Martínez Moreno; Jose Carlos Xolio Xolio; Margarito Hernández García; Alexis Salazar Viveros, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz.	
Métricas para evaluar el impacto de la producción científica _____	123
Kirath A. Vázquez Muñoz; María Andrade-Aréchiga; JRG Pulido; José Román Herrera-Morales; Pedro Damián Reyes, Universidad de Colima	
Sistema de gestión web para la administración de eventos del fideicomiso, Centro Internacional Acapulco _____	130
Ernesto Pilo Reyes; Juan Miguel Hernández Bravo; Eduardo de la Cruz Gámez; José Francisco Gazga Portillo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Acapulco	
Análisis del impacto de las redes de interacción de estudiantes en el desempeño académico en un sistema de tutoría inteligente _____	137
Itzel Berenice Guerrero Alfaro; María Andrade-Aréchiga; JRG Pulido; Silvia B. Fajardo-Flores, Universidad de Colima	
Metodología para obtener mapas del índice de área foliar en cultivos de caña de azúcar	144
Rodrigo Rodríguez-Ramírez; María Guadalupe Sánchez-Cervantes; Daniel Fajardo-Delgado; Rubén Zepeda-García, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán; Himer Ávila-George; Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara	



Calidad

y

Sistemas de  
Manufactura

---

Ingeniantes

# Propuesta de implementación de una red de corredores verdes en zonas de actividades logísticas portuarias de Manzanillo, Colima



Colaboración

Víctor Valladares Vadillo, Instituto de Planeación para el desarrollo Sustentable de Manzanillo

**RESUMEN:** Se hace un análisis casuístico de la política pública urbana para el ordenamiento y control de crecimiento de las zonas de tipo industrial, a partir de la estrategia de estructura urbana en el Programa de Desarrollo Urbano del centro de población de Manzanillo. El aprovechamiento urbano de tipo industrial, se identifica como una de las principales causas de afectación a los sistemas territoriales y urbanos por su emplazamiento expansivo y por las afectaciones a los sistemas ambientales que esto genera. Para la implementación de una red de corredores verdes en las vías públicas de las zonas con predominancia de usos destinados a actividades logísticas portuarias de almacenamiento de contenedores, se revisan los principios del marco normativo propuestos en la legislación en materia urbana, se hace la caracterización de las zonas industriales de la ciudad para la construcción de una Visión Estratégica para el Ordenamiento territorial y urbano de las Zonas Industriales de Manzanillo, así como de un anexo técnico descriptivo de los componentes del sistema integral de corredores verdes con la finalidad de proveer a tomadores de decisiones de un marco de planeación y de principios de política pública municipal, generados a partir de lineamientos conceptuales territoriales y urbanos.

**PALABRAS CLAVE:** Corredores verdes, Planeación territorial y urbana, Política pública urbana municipal, Vinculación ciudad puerto, Zonas de actividades logísticas portuarias.

**ABSTRACT:** A casuistic analysis of the urban public policy for the ordering and control of growth of the industrial type areas is made, based on the urban structure strategy in the Urban Development Program of the population center of Manzanillo. The urban use of industrial type, is identified as one of the main causes of affectation to the territorial and urban systems by its expansive location and by the affectations to the environmental systems that this generates. For the implementation of a network of green corridors on public roads in areas with predominance of uses for port logistics activities of container storage, the principles of the regulatory framework proposed in urban legislation are reviewed, the characterization of the industrial areas of the city for the construction of a Strategic Vision for the Territorial and Urban Planning of the Industrial Areas of Manzanillo, as well as a descriptive technical annex of the components of the integral system of green corridors in order to provide decision makers with a planning framework and municipal public policy principles, generated from territorial and urban conceptual guidelines.

**KEYWORDS:** Areas of port logistics activities, Green corridors, Linking port - city, Municipal public policy, Territorial and urban planning.

## INTRODUCCIÓN

La operación del puerto de Manzanillo ha configurado un escenario de especial atención para las autoridades locales encargadas de la planeación urbana y territorial, para el inicio del siglo XXI, se vislumbra la necesidad de comprender la operación del puerto y su dependencia con la ciudad, como un ente complejo de interacción y distintas dinámicas que configuran la ciudad de Manzanillo por ser interdependientes, por la demanda en su operación de extensos territorios así como por ser fuente generadora de empleos y como punto referente atractor y emisor miembro de una red logística internacional.

Con la propuesta de implementación de una red de corredores verdes en zonas de actividades logísticas portuarias de Manzanillo, Colima, se atiende el objetivo de contribuir a la generación de las condiciones idóneas, para la regularización de patios de contenedores, ubicados en zonas industriales y la definición de anteproyectos, para

la posterior ejecución de obras, en correspondencia con proyectos urbanos integrales, mediante la construcción de una política pública urbana municipal, como acción colectiva.

En la **Caracterización de las zonas industriales**, se definen las tres principales zonas con vocación de usos industriales y de servicios a la industria y al comercio localizados en la estrategia de zonificación del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo (PDU) actualizado en el año 2015, instrumento rector aplicable y vigente para el desarrollo urbano de la ciudad.

Se revisan los **Principios de política pública propuestos en la legislación urbana**, señalando en el marco normativo jurídico las leyes y reglamentos de aplicación en el ámbito estatal para las zonas industriales y el marco de planeación en el que se encuadran dichas zonas de la ciudad y puerto de Manzanillo.

Se definen las visiones sobre la estrategia de estructura urbana de las zonas industriales de Manzanillo, mediante un análisis de modelos referentes con un enfoque basado en principios de movilidad urbana a partir de la **Comprensión de la vocación de las calles en las zonas industriales** mediante una revisión de distintos lineamientos conceptuales territoriales y urbanos propuestos en el Manual de Calles de México de la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) publicado en el año 2018, para sustentar la definición de los corredores urbanos verdes para las zonas industriales de Manzanillo.

Por último se redacta como resultado la visión específica y las **Bases para diseño de anteproyectos de vialidad en zona con predominancia de usos industriales a partir de la estrategia de estructura urbana del Programa de Desarrollo urbano de Manzanillo** y se enlistan a manera de conclusión las sugerencias y hallazgos en la construcción de la visión estratégica a partir de la caracterización del fenómeno de estudio.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS INDUSTRIALES DE MANZANILLO

La metodología de investigación es documental casuística aplicada al fenómeno de estudio de las interacciones del sistema puerto-ciudad. La principal problemática que da origen a la elaboración de la investigación casuística aplicada a Manzanillo, es la identificación de afectaciones por el emplazamiento territorial de los patios de almacenamiento de contenedores, detectando las causas que inciden en procesos de degradación en el sistema territorial y urbano, tanto por el descontrolado proceso de regulación de los aprovechamientos urbanos, principalmente los de tipo industrial, como por las afectaciones a los sistemas ambientales que ponen en riesgo la calidad de vida de la población, y ocasionan pérdidas económicas y afectaciones a los ecosistemas de manera recurrente.

En el contexto nacional e internacional la ciudad y puerto de Manzanillo es una pieza clave para la configuración de una red logística que conecta el pacífico mexicano con la zona centro del país y con la parte sur de los Estados Unidos de Norteamérica. Por su localización en el contexto regional, junto con el puerto de Lázaro Cárdenas en el estado de Michoacán[1], Manzanillo se ha convertido ya en el portal de México hacia el pacífico, enlazando regiones económicas a través de la infraestructura portuaria y de los corredores férreos y carreteros del país. El día de hoy el Puerto de Manzanillo encara un panorama de importante crecimiento, que demandará de extensas superficies de apoyo en servicios logísticos<sup>1</sup> e industriales[2].

La Administración Portuaria Integral de Manzanillo (API-MAN) [3] informó que manejó al cierre del año 2018 la suma de **3,078,505 TEU's<sup>2</sup>**, cifra superior en un **8.8%** con respecto al año 2017, rompiendo la barrera de los tres millones de contenedores. De ese volumen total, **1,106,418 TEU's** corresponde al segmento de contenedores de trasbordo que creció 4.6% en relación con el año anterior, representando el 35.9% de su volumen total. De igual forma la API Manzanillo ha identificado que la distribución de la carga por medio de transporte en los últimos años, ha sido por el orden de 80% de la participación para auto-transporte de carga y el 20% restante para transporte por ferrocarril, situación que implica para la ciudad de Manzanillo, un reto, en cuanto a la actualización de las estrategias promovidas para corresponder ante la dinámica portuaria.

La configuración territorial del puerto respecto al resto del asentamiento humano, permitió definir en el actual instrumento rector Programa de desarrollo Urbano del Centro de Población[4] tres principales zonas:

- » **CORREDOR TAPEIXTLES-JALIPA** representa el 3.38% del territorio.
- » **BARRA DE CAMPOS** dispone de una superficie equivalente al 3.20% de la ciudad.
- » **DISTRITO INDUSTRIAL EL COLOMO** complemento al puerto que se planea opere en la laguna de Cuyutlán con un 6.60% del total del asentamiento en el PDU vigente. (Ver figura 1)

Las tres zonas industriales principales de la ciudad de Manzanillo representan el 13.18% de la superficie total del polígono del centro de población. Sin embargo si se considera que aproximadamente 17,000 hectáreas dentro del

*1 La consideración de un puerto desde una perspectiva logística significa que no sólo se deben tener en cuenta las actividades que se desarrollan en el entorno del ámbito portuario, sino también la influencia que estas actividades tienen sobre el transporte anterior y posterior a dicho puerto.*

*2 TEU: Unidad de medida de capacidad de transporte marítimo en contenedores. Originalmente es un acrónimo de la expresión inglesa "Twenty-feet Equivalent Unit". Es el tamaño que se ha establecido como base, tomando como unidad la capacidad de un contenedor de 20 pies.*



polígono corresponden a zonas de aprovechamiento de los recursos naturales (zonas cerriles), por lo tanto, al sumar 1073Ha. de la zona Tapeixtles-Jalipa, mas 1015 Ha. de la zona de Campos y 2090 Ha. de El Colomo, el total de 4,178 hectáreas zonificadas para usos industriales de Manzanillo representan el 28.5% de la zona urbana ocupada.

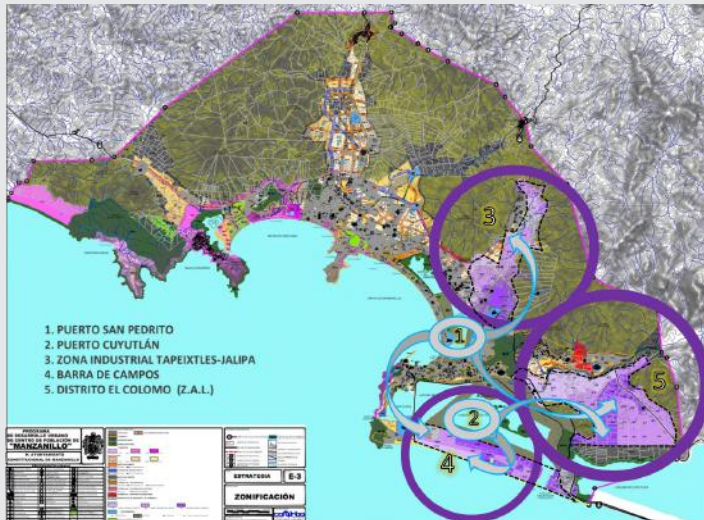


Figura 1. Localización de puertos y zonas industriales y de actividades Logísticas de Manzanillo en la Estrategia de Zonificación del PDU de Manzanillo. Fuente: Elaboración propia sobre Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población, 2015.

Los principios rectores de ordenamiento territorial para la ciudad de Manzanillo tendrán que orientarse hacia la cobertura de los siguientes aspectos:

- Respetar la eco-forma<sup>3</sup> del territorio (relieves, topografía), condicionantes del medio físico natural (mar, ríos, cerros, valles, etc.)
- Respetar y enriquecer la vocación territorial del suelo y las condiciones ambientales.
- Fortalecer los transectos<sup>4</sup> urbanos que sirven para amortiguar cada zona (puerto y ciudad)
- Relación armónica de actividades de la ciudad-puerto (Puerto, turismo, habitantes, visitantes)
- Valorar imagen urbana (legado histórico, paisaje pintoresco)
- Potenciar los elementos de la infraestructura portuaria para enriquecer lectura paisajística en la ciudad-puerto.

3 Mediante una lectura del territorio a partir de la interpretación de su "ecoforma", con la continuidad de paisajes naturales, referidos a la forma que consiguen develar los ecosistemas, ya sean dominantes, naturales o culturales, para conservarlos, manejarlos bien, y acentuar su belleza. [5]

4 \*Transecto urbano es un concepto de planeación urbana. ONU Hábitat lo define como una herramienta visual muy útil para dividir el territorio en múltiples usos, mediante la variación gradual transicional fractal desde los bordes al centro de la zona urbana.

Tal y como se señala como evidencia empírica particular de Manzanillo, [6] al definir la competencia por el suelo urbano por la operatividad portuaria, debido a que ésta, demanda servicios de transporte de mercancías y contenedores que requieren el establecimiento de bases logísticas elementales para el almacenamiento de medios de transporte y para su mantenimiento.

Entre los problemas identificados como de alto impacto[7], que ocurren en la ciudad de Manzanillo, se encuentra el ingreso diario al puerto de entre 1200 y 1500 tráileres, que junto con las interrupciones del tráfico urbano por el paso del ferrocarril, resultan situaciones que representan importantes externalidades sociales, económicas y ambientales.

Con referencia al periodo de 2005 a 2012 los estudios de planeación muestran una transformación territorial importante pasando el área urbana del centro de población de 2,650 hectáreas a 4,655 hectáreas, siendo el indicador más relevante, la distribución de los principales usos del suelo, en la que el uso turístico disminuyó del 18% al 7%, mientras que el uso habitacional creció del 69% al 72% y los usos industriales, logísticos y de servicios a la industria registraron un notable aumento al pasar del 12% al 21% lo que significó pasar de una superficie de aproximadamente 318 hectáreas a 975 hectáreas.

Las diferencias más significativas detectadas en la modificación del PDU en el periodo de dos años (del 2013 al 2015) entre otras, principalmente son en el total de superficie de zonificación para usos industriales y de servicios a la industria y al comercio, los cuales eran por el orden de las 2,527 hectáreas<sup>5</sup> en total en la estrategia del 2013, situación que tras la actualización en el 2015 se incrementó, siendo 3,082.23 hectáreas<sup>6</sup> las zonificadas para la industria en Manzanillo. Además y como información más significativa respecto a la temporalidad de los horizontes de planeación se muestra la apertura por el orden del 70% más de la reserva urbana a corto plazo en la tabla 1.

Tabla 1. Datos comparativos de superficies consideradas en el Programa de Desarrollo urbano vigente y en la versión previa.

	PDU (2013)	PDU (2015)
RU-CP	1,899.50Ha.	3,261.08Ha.
RU-MP	2,145.19Ha.	1,587.99Ha.
RU-LP	1,565.67Ha.	1,183.64Ha.
TOTAL	5,610.36Ha.	6032.71Ha.

5 PDU 2013 consideraba Servicios a la industria y al comercio (S) 856.99Ha, Industrial de Bajo impacto y riesgo (I1) 844.81Ha. , Industrial de Mediano impacto y riesgo (I2) 407.48Ha., Industrial alto impacto y riesgo (I3) 417.79 Ha.

6 PDU 2015 considera Servicios a la industria y al comercio (S) 179.59Ha, Industrial de Bajo impacto y riesgo (I1) 642.62Ha. , Industrial de Mediano impacto y riesgo (I2) 1284.02Ha., Industrial alto impacto y riesgo (I3) 976.00 Ha.

## PRINCIPIOS DE POLÍTICA PÚBLICA PROPUESTOS EN LA LEGISLACIÓN URBANA PARA ZONAS DE TIPO INDUSTRIAL DE MANZANILLO

Con la promulgación en noviembre de 2016 de la Ley General de Asentamientos Humanos Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU) de México, se definieron los principios de política pública respecto a la conducción de la planeación, regulación y gestión de los asentamientos humanos, centros de población y la ordenación de los territorios, aplicables para las ciudades mexicanas, a los cuales se busca corresponder en congruencia a la política nacional el Municipio de Manzanillo y su jurisdicción territorial.

Las zonas con predominancia de usos industriales de la ciudad de Manzanillo son susceptibles de desarrollarse en su conjunto integrado, tal como se señala en la Ley de Asentamientos Humanos del Estado de Colima (LAHEC), en la que se especifica que para contribuir con la consolidación en una determinada zona de la ciudad, los promotores de las urbanizaciones parciales podrán aportar mediante convenio, la construcción o mejoramiento de la vialidad, de la infraestructura, del equipamiento y de las instalaciones, que estando localizadas fuera de la zona que les compete urbanizar en forma directa, se requieran para su adecuado funcionamiento.

Los lineamientos relativos a la densidad de la edificación en las zonas industriales, refieren a que los predios o terrenos y las edificaciones e instalaciones ubicadas en las zonas de industria (ligera y bajo impacto, **tipo I-1<sup>9</sup>**; mediano impacto y riesgo, **tipo I-2<sup>10</sup>**; pesada y de alto impacto y riesgo, **tipo I-3<sup>11</sup>**) deberán cumplir con lineamientos relativos a la densidad de la edificación, al respecto de este punto particular, se evidencian dos necesidades para la óptima aplicación del Reglamento de zonificación del Estado de Colima (RZEC), para las zonas industriales de Manzanillo, la primera, en cuanto a la pertinencia de generar lineamientos específicos relativos a la densidad de edificación y de ocupación del suelo para el establecimiento de bases logísticas elementales para el almacenamiento de medios de transporte (contenedores vacíos, plataformas de carga, etc.) y para su mantenimiento (talleres para tracto-camiones, servicio de grúas especializadas, etc.), debido a que dicho uso de suelo no existe como tal en los tabuladores de grupos permitidos para zonas de tipo industrial, por lo que la propuesta completa buscaría además incorporar al RZEC para tal fin, la denominada zona para usos logísticos industriales portuarios.

**9** RZEC. Artículo 89 I. Superficie mínima del lote de **400m<sup>2</sup>**; II. Frente mínimo del lote **15 ml.**; VI. Se deberá tener dentro del lote un **área de estacionamiento** VII. Restricción frontal **5m.** (deberá tener un mínimo del 20 por ciento como **área jardinada**).

**10** RZEC. Artículo 90. I. Superficie mínima del lote **1.200m<sup>2</sup>**; II. Frente mínimo del lote **20 ml.**; VI. Se deberá tener dentro del lote un **área de estacionamiento**; VII. Restricción frontal **5m.** (deberá tener un mínimo del 20 por ciento como **área jardinada**).

La segunda necesidad detectada es respecto a la deficiencia en la reglamentación local sobre los criterios de ingeniería y configuración urbana para las zonas industriales, por lo que se hace énfasis respecto a especificar dentro de los proyectos de programas parciales de urbanización de este tipo de establecimientos, las propuestas de arbolado para el tratamiento de áreas verdes de amortiguamiento (especies propuestas y su cuidado) y que la autoridad competente en dicha materia, verifique la congruencia de estas consideraciones con las que se presenten en el Manifiesto de Impacto Ambiental (MIA<sup>12</sup>); De igual forma, respecto a las consideraciones para el desalojo pluvial, cuidando que las infiltraciones al subsuelo se logren, tanto en las áreas propuestas como Espacios Verdes de amortiguamiento al interior de los predios, así como en la franja frontal de restricción de 5 metros<sup>13</sup>; En cuanto a las características del tipo de pavimentos para las zonas industriales de Manzanillo, la sugerencia es en el sentido de atender lo que se especifica en la reglamentación<sup>14</sup>, la cual señala que para el tipo de zona y las características de los vehículos que transitan, se sugieren entre otras opciones de material el concreto hidráulico que posibilita la circulación de vehículos con carga.

## COMPRESIÓN DE LA VOCACIÓN DE LAS CALLES EN LAS ZONAS INDUSTRIALES

Las calles son la base de cualquier sistema de movilidad urbana. Además, son pilares para el desarrollo económico de las ciudades. Por ello, en el documento Manual de calles: diseño vial para ciudades mexicanas[8] se incluyen modelos que facilitan la comprensión de la vocación de cada calle, considerando tanto su función de tránsito, como de lugar de interacciones y otras actividades humanas.

Desde abril del año 2018 dicho manual, es referente oficial que la administración pública federal ofrece, a aquellos interesados en el diseño geométrico de una calle y la gestión de proyectos viales en zonas urbanas. En relación a los lineamientos de diseño y consideraciones para transporte de carga, se define a los vehículos de carga como los que tienen peso mayor a 4 toneladas y están destinados al transporte de mercancías. El ancho máximo autorizado para todas las clases de vehículos que transitan es de 2.60 m., sin incluir los espejos retrovisores, elementos

**11** RZEC. Artículo 91. I. Superficie mínima del **1.500m<sup>2</sup>**; II. Frente mínimo del lote **30 ml.**; VI. Se deberá tener dentro del lote un **área de estacionamiento**; VII. Restricción frontal será de cinco **5m.** (deberá tener un mínimo del 20 por ciento como **área jardinada**).

**12** Ley ambiental para el Desarrollo sustentable del estado de Colima CAPÍTULO V EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL ARTÍCULO 44.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual las autoridades ambientales evalúan los efectos que sobre el ambiente y los recursos naturales pueden generar la realización de obras o actividades dentro del territorio del Estado, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos y prevenir futuros daños al ambiente y los recursos naturales.

de sujeción y demás aditamentos para el aseguramiento de la carga. La altura máxima autorizada para todas las clases de vehículos que transitan en los diferentes tipos de caminos es de 4.25 m., de acuerdo con la NOM-012-SCT-2-2014.

En términos generales, un ancho de carril de 3.30m es suficiente para una conducción cómoda y segura de camiones de carga, por lo que no se recomienda anchos más grandes. A su vez, este espacio permite mayor visibilidad a conductores de todos los vehículos, facilitando el rebase.

Con un presupuesto limitado, la mejor manera de mejorar una calle es incluir vegetación y arbolado. Asumiendo que la vegetación es adecuada para una determinada calle y que va a ser correctamente mantenida, los árboles y la vegetación pueden transformar más la calle que cualquier intervención de diseño físico. La vegetación en las calles contribuye a mejorar la calidad estética y confort bioclimático de los espacios, está constituida principalmente por árboles, arbustos y jardineras.

Si el suelo permite la infiltración efectiva, un área jardinada será suficiente. Pero si se requiere una tasa de infiltración más potente, el jardín deberá incorporar capas de suelo que permitan capturar agua a la velocidad requerida. Para una velocidad de recarga óptima se puede usar un modelo estándar de 4 capas<sup>15</sup>, la distribución más efectiva de materiales y profundidad depende de cada caso específico. (Ver figura 2)

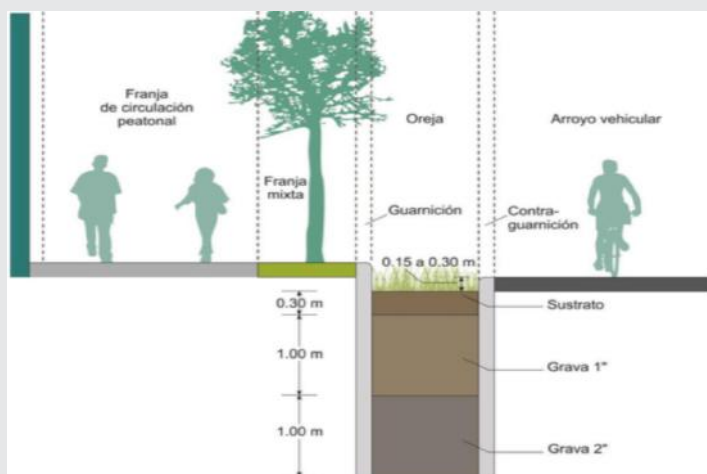


Figura 2. Esquema de jardín infiltrante. Fuente: Norma Técnica de Diseño e Imagen Urbana del Municipio de Puebla. [9]

13 RZEC. Artículo 91. I.

14 Reglamento de Zonificación para el Estado de Colima, artículo 167 inciso b

15 1. Capa de 30 cm de tierra o sustrato vegetal. 2. Capa de arena de 10 cm, que funcionará como filtro. 3. Capa de 20 a 30 cm de grava controlada de 3/4\"/>

Para la materialización de obras concretas en las zonas con predominancia de usos industriales usando los criterios metodológicos de análisis y revisión documental realizados en la contrastación de la hipótesis, y que son aplicables al análisis de caso Zona Industrial Tapeixtles Norte y sur, (ver figura 3) en el esquema se refiere al dimensionamiento propuesto en la estrategia de estructura urbana del Programa Parcial de Desarrollo urbano Tapeixtles Jalipa [10], en el cual para la vialidad CD-70 calle Algodones se dispone de una sección libre de espacio público de 15 metros en total de los cuales le corresponden 8 metros para arroyo vehicular (dos carriles de 4 metros cada uno) y aceras en ambos lados de 3.50 metros (para construcción de banqueta acera peatonal de 1.20metros de ancho); para la vialidad AC-35 calle Tapeixtles se dispone de una sección libre de espacio público de 14 metros en total de los cuales le corresponden 9 metros para arroyo vehicular (dos carriles de 4.50 metros cada uno) y aceras en ambos lados de 2.50 metros (para construcción de banqueta acera peatonal de 1.20metros de ancho).

En el esquema propuesto se definen las circulaciones viales a manera de generar en la intersección de ambas vialidades un nodo en el que la geometría favorece los giros direccionales con el radio de giro para el vehículo de diseño del trazo geométrico de 15 metros.



Figura 3. Esquema de circuitos para vialidades con corredores verdes en zonas con predominancia de usos industriales de la ciudad de Manzanillo

Fuente: Elaboración propia en base a secciones viales propuestas en estructura urbana del PDU T.J.

También se representa el esquema de disposición en el interior de los predios del acceso y salida para vehículos (ver figura 4) tal como se especifica en el artículo 24 del PDU T-J, considerando de igual forma y en adición a las aceras en la vía pública se suma una superficie correspondiente a los 5m de restricción frontal así como la disposición de los estacionamientos al interior de los predios tal como se especifica en los artículos del 89 al 91 del Reglamento de Zonificación del Estado de Colima.

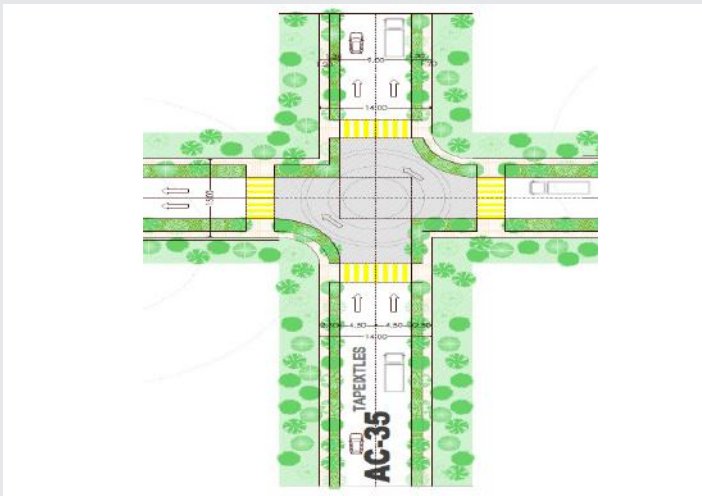


Figura 4. Esquemas de nodo y sección vial con corredores verdes en zonas con predominancia de usos industriales de la ciudad de Manzanillo.

Fuente: Elaboración propia en base a secciones viales propuestas en estructura urbana del PPDU T.J.

## RESULTADOS

Mediante la información presentada en la sección anterior, referente a una visión específica para la implementación de una red de corredores verdes en las vías públicas de las zonas portuarias, se concluye que los corredores verdes, implementados por una política urbana en la que se priorizan los sistemas urbano ambientales, permiten el tránsito en ambientes arbolados y conforman entornos públicos incrementan el número de áreas verdes de la ciudad.

Con la finalidad de contribuir a la consolidación de las zonas con predominancia de usos destinados a actividades logísticas portuarias de almacenamiento de contenedores de la ciudad y puerto de Manzanillo, se propone la unificación de los criterios para las secciones viales.

A continuación se describe el anexo técnico para corredores verdes como un resultado preliminar a la elaboración de una norma técnica de diseño vial para Manzanillo.

**CORREDORES VERDES A LO LARGO DE LAS VIALIDADES** son cortinas de arbolado para mitigación de ruidos, emisiones y calentamiento de pavimentos, generan sombra y permiten una lectura paisajística uniforme mediante la disposición de variedades endémicas o de floración en temporadas. Para la consolidación de los corredores verdes, además de la sección en vía pública, se deberá considerar la franja perimetral de amortiguamiento y restricción frontal de los predios particulares.

**ACERAS PEATONALES** en ambos lados de la vialidad, se propone construcción física de acera peatonal mediante banqueteta de 1.20 metros de sección y el resto de superficie destinarlo a jardinera para plantado de arbolado, la autoridad competente en materia ambiental podrá sugerir la variedad que se adapte más a las necesidades de la zona para su debido podado y mantenimiento.

**SEMBRADO Y ESPECIES DE ÁRBOLES** Se sugiere el uso de especies endémicas que reducen posibilidades de plagas, enfermedades y costos de mantenimiento. La selección dependerá de la región climática en la que se haga el proyecto; Manzanillo pertenece a la región templado húmedo, templado subhúmedo, zona inundable o de transición mar-tierra.

**SISTEMA INTEGRAL DE PLUVIALES** considerando criterios de sustentabilidad como zonas de recarga acuífera y captación de lluvia mediante la disposición de un sistema integral de encauzamientos para pluviales en la zona, se deberán encauzar direccionando los drenes pluviales cuidando que las infiltraciones al subsuelo se logren, tanto en las áreas internas de los predios propuestas como EV de amortiguamiento, así como en las franjas frontales de restricción de 5m especificada en la fracción VII del artículo 91 del Reglamento de Zonificación del Estado de Colima y en las aceras de corredores verdes.

**POZOS DE ABSORCIÓN** se complementa el sistema integral de pluviales mediante la disposición, según especificación técnica, con la disposición de pozos de absorción para recarga de acuíferos del subsuelo al interior de los predios y en áreas verdes de aceras peatonales en vía pública, su cantidad y especificación dependerá de la revisión del esquema del conjunto. Se permite también que el agua de lluvia recolectada en los ejes viales será canalizada hacia los pozos de infiltración por medio de aberturas a nivel de guarnición en la banqueteta.

**JARDINES INFILTRANTES O DE LLUVIA** Son espacios de retención, captación e infiltración de agua pluvial que consisten en capas permeables en el subsuelo que acelera la velocidad de infiltración. Cumplen con la doble función de retener e infiltrar, por lo que en principio pueden colocarse en diferentes tipos de suelo, aunque es preferible uno permeable.

## CONCLUSIONES

Se enlistan las sugerencias y hallazgos a partir de la caracterización del fenómeno de estudio:

I. Se evidencia la necesidad de concientizar a los tomadores de decisiones y actores involucrados: autoridades gubernamentales, comunidad portuaria y ciudadanos de Manzanillo, sobre la visión estratégica para la implementación de corredores verdes en las zonas de usos logísticos industriales portuarios.

II. Se requiere de la elaboración de investigación aplicada al fenómeno de estudio, para la integración de insumos para la actualización de los instrumentos rectores de la planeación y el desarrollo territorial y urbano de la ciudad y puerto de Manzanillo.

III. Se demandan delinear políticas públicas para el desarrollo armónico que considere aspectos ambientales – te-

territoriales urbanos y portuarios en su conjunción y que se determinen las acciones a seguir en base a la definición de una visión estratégica que considere todos los aspectos y su importancia.

IV. Proponer la integración e instrumentación en el Reglamento de Zonificación estatal de zona como uso de suelo de las denominadas Zona de actividades Logísticas (ZAL), a manera de corresponder con el escenario actual y previendo la generación de un mecanismo de incorporación de dichas zonas de patios de contenedores a suelo urbano de la ciudad y puerto de Manzanillo.

V. Considerar la inclusión en una norma técnica local del criterio para definición de secciones de vialidades de zonas industriales en correspondencia a las características del dimensionamiento de los vehículos de diseño y tránsito de autotransporte de carga desde y hacia el puerto de Manzanillo.

VI. El posicionamiento respecto a los principios de la política pública municipal, deberá de encuadrarse, dentro de un marco de planeación, a partir de los lineamientos conceptuales territoriales y urbanos; y dentro de un marco de gestión municipal, que considere las distintas áreas y direcciones del Honorable Ayuntamiento de Manzanillo.

Como trabajo futuro generado a partir de las conclusiones de este trabajo se pueden señalar dos principales prioridades, una respecto a la implementación de los criterios técnicos de los corredores verdes mediante la formalización de una norma técnica para este tipo de vialidades; y otra es, la especificación para la denominada zona de actividades logísticas portuarias y sus condicionantes normativas implementadas en una propuesta de reglamentación municipal.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] México. Secretaría de Desarrollo Social (2001) Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio 2001-2006.

[2] La Función Logística del Puerto. La Función del Puerto en las Cadenas de Transporte y Logísticas. (n.d.), <http://m.logisticamx.enfasis.com/notas/3846-la-funcion-logistica-los-puertos>

[3] Gutiérrez, Rosario (2019) Manzanillo aumenta 7.8% su movimiento portuario en lo que va de 2019. Abril, 08, 2019, <https://estacionpacifico.com/2019/04/08/en-lo-que-va-de-2019-manzanillo-aumento-en-7-8-su-movimiento-portuario/>

[4] Periódico Oficial del Estado de Colima, Col. (2015) Actualización del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Manzanillo (PDU-2015) Tomo 100, Colima, Col., Sábado 21 de Febrero del año 2015; Núm. 09, pág. 2.

[5] Pesci, Rubén (2007) *AMBITECTURA Hacia un tratado de arquitectura, ciudad y ambiente*. Ediciones Al Margen, La Plata Argentina.

[6] Santana Verduzco, José Luis. (2014) *EL ESPACIO URBANO TRANSNACIONAL: Proyectos estratégicos y gestión del conflicto en la ciudad de Manzanillo*. Tesis doctoral. Centro Universitario de arte arquitectura y diseño de la Universidad de Guadalajara.

[7] Córdoba España, Mario. (2012) *CIUDADES EN EL CONTEXTO DE LOS NODOS PORTUARIOS GLOBALES: El caso del crecimiento portuario de Manzanillo y sus implicaciones en el territorio red de la ciudad*. Tesis doctoral. Centro Universitario de arte arquitectura y diseño de la Universidad de Guadalajara.

[8] México. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano y Banco Interamericano de Desarrollo. (2018) *MANUAL DE CALLES: diseño vial para ciudades mexicanas*.

[9] Municipio de Puebla. (2014) *NORMA TÉCNICA DE DISEÑO E IMAGEN URBANA DEL MUNICIPIO DE PUEBLA*.

[10] Periódico Oficial del Estado de Colima (2017) Programa parcial de desarrollo urbano Tapeixtles-Jalipa, ubicado en el municipio de Manzanillo, Colima. Tomo 102, Colima, Col., Sábado 28 de Enero del año 2017; Núm. 06, pág. 219.



Calidad

y

Sistemas de  
Manufactura

---

Ingeniantes

# Diseño de un cuadro de mando para la empresa Tuxpan Port Terminal mediante el uso del Balance Score Card



## Colaboración

Guillermo Benítez López; María de los Angeles Valdez Pérez; Margarita Cruz Chavez, Instituto Tecnológico Superior de Naranjos

**RESUMEN:** La mayoría de las empresas buscan alinear las estrategias de los procesos clave de estas, aunque se han desarrollado algunas investigaciones con respecto a este sector del conocimiento existen limitaciones que requieren ser abordadas de manera particular, es por ello; que en el presente trabajo de grado se desarrolla un modelo de implementación del Balanced Score Card a la cadena de suministro de la empresa Tuxpan Port Terminal (TPT) centrando su operatividad en el área de operaciones. El objetivo de este estudio es mejorar la comunicación y organización en el área de operaciones de la cadena de suministros de la terminal portuaria mediante el diseño de indicadores de gestión logísticos que alinien el cumplimiento de los objetivos y estrategias de la organización mediante 4 perspectivas necesarias: Perspectiva financiera, perspectiva del cliente, perspectiva de procesos internos y perspectiva de formación y crecimiento.

**PALABRAS CLAVE:** balanced scorecard, cadena de suministro, KPI'S, transporte marítimo.

**ABSTRACT:** Most companies seek to align the strategies of the key processes of these, although some research has been developed with respect to this sector of knowledge there are limitations that need to be addressed in a particular way, that is why; that in the present work of degree develops a model of implementation of the Balanced Score Card to the supply chain of the company Tuxpan Port Terminal (TPT) focusing its operation in the area of operations. The objective of this study is to improve communication and organization in the area of operations of the supply chain of the port terminal by designing logistics management indicators that align the fulfillment of the objectives and strategies of the organization through 4 necessary perspectives: Financial perspective, customer perspective, internal processes perspective and training and growth perspective.

**KEYWORDS:** balanced scorecard, supply chain, KPI'S, marine transport.

## INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es uno de los actores principales dado a su intercambio internacional de mercancías que se mueven por esta vía, por sus grandes cantidades y dimensiones que se importan y exportan, convirtiéndose los puertos dentro de la cadena de suministro en los nodos más importantes. En México se cuenta con más de 38 puertos marítimos en servicio, de los cuales, 16 son puertos de altura; en el Golfo de México se encuentran ubicados 8 de ellos de acuerdo a INEGI (2018) localizados en Altamira, Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, Dos Bocas, Progreso y Quintana Roo.

Tuxpan Port Terminal (TPT) es una terminal marítima portuaria, ubicada en el puerto de Tuxpan, Veracruz, en la zona de la Administración Portuaria Integral, posicionándose en una de sus principales actividades como es la recepción de buques ro-ro y buques de carga general.

TPT es una empresa de nueva creación que pretende mejorar la comunicación y organización en el área de operaciones en la cadena de suministro de la empresa utilizando el método de Balanced ScoreCard (BSC) y estos ser medidos a través de indicadores de gestión logística.

BSC se concibe como un proceso descendente que consiste en traducir la misión y la estrategia global de la empresa en objetivos y medidas más concretos que puedan inducir a la acción empresarial oportuna y relevante mencionado en [1] permitiendo medir indicadores de producción, así como el desempeño de toda la organización [2].

La implementación de BSC en las empresas permite la alineación de los empleados hacia la visión de la empresa, mejora de la comunicación hacia todo el personal de los objetivos y su cumplimiento, redefinición de la estrategia en base a resultados, traducción de la visión y de la estrategia en acción, orientación hacia la creación de valor, integración de la información de las diversas áreas de negocio, mejora de la capacidad de análisis y de la toma de decisiones [3].

La matriz FODA es una herramienta para la toma de decisiones estratégicas a través de un diagnóstico para la toma de decisiones [4].

KPI'S por sus siglas en inglés (Key Performance Indicators) indicadores de desempeño claves en la cadena de suministro que establece objetivos de la empresa identificando los factores que afectan a la operación con el fin de proponer un plan incluyendo estos indicadores para su implementación. [5]

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realiza una investigación diagnóstica a través de un FODA, con el fin de conocer la fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta la empresa. También se realiza la determinación de los KPI'S a través de los indicadores que la misma empresa determina, y finalmente se realiza el modelo de Balance scorecard con el fin de dar a conocer el status de la empresa.

### Determinación de la estrategia del Balanced scorecard

Se analizó la cadena de suministro en tres maniobras: Maniobra 1 entrada de madrinan por la aduana, Maniobra 2 almacén temporal y producción, Maniobra 3 Embarque o entrega final, se implementó una serie de

objetivos y metas, entre los encargados del área, estableciéndose los indicadores logísticos (KPI'S) como puntos de medición, para posteriormente desarrollar el Balanced ScoreCard, esto fue con la finalidad de facilitar una mejor comunicación con los obreros y obtener la productividad esperada.

### Aplicación del Método del Balanced Scorecard.

Para la aplicación del método Balanced ScoreCard se fijaron objetivos en las 4 perspectivas [6] que conforman este método, las cuales son: financiera, clientes, procesos internos y aprendizaje y crecimiento, La Perspectiva Financiera, la perspectiva del cliente, la de procesos internos y la formación y crecimiento. En la financiera se optó por un modelo de estimación del grado de madurez consustanciado en tres etapas de crecimiento, sostenimiento y de cosecha. En la perspectiva del cliente se evaluó la forma en que el cliente percibe la empresa, en TPT se seleccionó un número suficiente de indicadores capaces de explicar aspectos básicos del comportamiento de los clientes con relación a los servicios prestados por la empresa, como el volumen de clientes, su grado de satisfacción, la retención y fidelización y su rentabilidad [7]. En la perspectiva de procesos internos para la alineación de las estrategias fue preciso definir una cadena de valor o línea estratégica horizontal, considerando tres procesos como los de desarrollo, operacional y de servicio post venta. TPT, se ha enfocado prioritariamente a la diversificación de servicios que presta la organización. El proceso operativo, por su parte, se enfoca en la prestación del servicio en condiciones óptimas de satisfacción para el cliente, mientras que el servicio postventa se centra en el soporte brindado al cliente una vez concluido el proceso de venta. La perspectiva de formación y crecimiento es la base sobre la que debe consolidarse la organización, puesto que sus indicadores son el punto de partida a partir de los cuales se podrán alcanzar las metas definidas en las perspectivas superiores. Estos indicadores de desempeño pueden agruparse en tres categorías para esta perspectiva: capacidades de los empleados (grado de satisfacción, retención de empleados, productividad), capacidades de los sistemas de información, motivación, delegación de poder y coherencia de objetivos. También se realizó el mapa estratégico y en conjunto con los indicadores logísticos.

### Integración de la Cadena Logística en el Área de Operaciones.

Para la integración de la cadena logística se esquematizó para la visualización e identificar los puntos a favor con el que se cuenta. La cadena de suministros realizada es específicamente para el área de operaciones de la empresa Tuxpan Port Terminal SA de CV.

## RESULTADOS

En la Figura 1, se muestra la cadena de suministros en el área de operaciones mostrando las tres maniobras correspondientes al flujo de información.



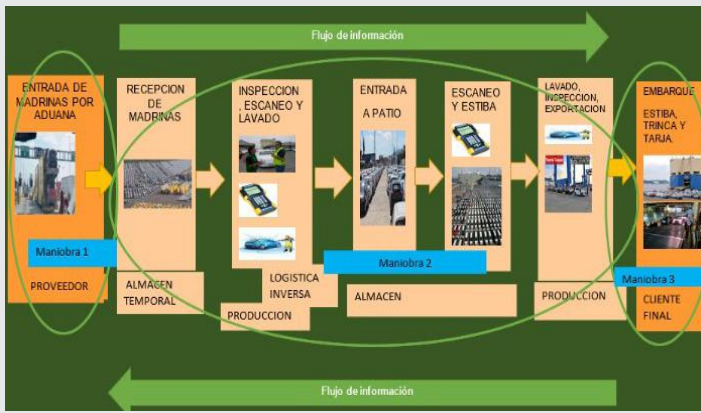


Figura 1. Cadena de suministros en el área de operaciones.

**Análisis FODA de Tuxpan Port Terminal.**

La comunicación de las metas y objetivos estratégicos de la organización deben estar vinculados, a los objetivos individuales. Ello es prácticamente un factor determinante del funcionamiento exitoso de las organizaciones.

Así los objetivos estratégicos se asocian a los objetivos de los diferentes sectores que participan de los procesos internos. Por otra parte, los mismos configuran información clave para la toma de decisiones, ya que deben ser verificados y servir de respaldo a la estrategia general. Las métricas a las que se someten los indicadores de todas las perspectivas son parte integrante tanto de la planificación estratégica como presupuestaria. De este modo, se garantiza la armonización del desempeño financiero en el corto plazo con los objetivos estratégico en el largo plazo, así como con las oportunidades de crecimiento detectadas. En este contexto, resulta fundamental concebir la necesidad imperiosa de que el bloque de indicadores consolidado en sus mediciones debe incluir un mecanismo de retroalimentación o Feedback continuo. Ello hace al aprendizaje organizacional, a la consolidación de visión estratégica de la compañía y de su capacidad de adaptación ante oportunidades y amenazas.

La aplicación del análisis FODA (8) determinó el proceso de identificación y evaluación que TPT debe afrontar en función de las estrategias definidas para la organización por parte de la alta dirección. Congruente con la problemática que conforma el eje central de este trabajo, la comunicación y la relación entre la alta dirección, los mandos medios y el nivel operativo es una de las grandes debilidades de la organización., así mismo se presenta la necesidad de un importante abordaje que hace a la gestión del capital humano en términos de comunicación, motivación e identidad organizacional. Más allá de esta primera aproximación al problema que estructura la realización de este trabajo se avanzó a la conformación de una serie de indicadores logísticos que se han integrado a las perspectivas consideradas para el análisis del Cuando de Mando Integral de la compañía. Como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis FODA.

	<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
<b>INTERNO</b>	Manejo de carga general contenerizada y automóviles. Ubicación privilegiada conectada con el estado de México y el arco norte. Tecnología de punta en cuanto a su maquinaria. Personal altamente capacitado Patio automatizado Puede recibir más de 5000 vehículos por mes. Sección aduanera dedicada. Capacidad operativa para recibir buques de más de 11,600 TEUs Mejoras en sus procesos. Seguridad en todas sus instalaciones.	Tiene poco tiempo dando servicio. Las jornadas laborales con largas. Hacen distinción entre el personal. No incentivan al personal No dan a conocer sus metas a cumplir con el personal. el personal que esta con puestos superiores no sabe trabajar en equipo.
<b>EXTERNO</b>	<b>OPORTUNIDADES</b> Cuenta con un plan de contingencias en caso de desastres naturales. Trabajo para la población. Primera empresa que cuenta con tecnología de punta. Nueva autopista Tuxpan-Tampico	<b>AMENAZAS</b> Clima Factores socioculturales No cuentan con agua potable Posible construcción de una nueva terminal en Tamiagua, ver.
	<b>POSITIVOS</b>	<b>NEGATIVOS</b>

**Integración de los indicadores logísticos a las perspectivas.**

Al considerar los indicadores logísticos y su integración a las perspectivas definidas en TPT se establecieron establecer los indicadores más oportunos. Se caracterizó cada una de las perspectivas y se realizó un inventario de un bloque de indicadores que permitieran determinar el grado de eficiencia de la organización en todos los aspectos relativos a su función de prestación de un servicio se determinó la capacidad máxima de operaciones, la capacidad de operaciones realmente utilizada, el rendimiento de los equipos, los costes del control de calidad del servicio, el estado de la prestación de servicios. Con el objeto de tener una idea precisa de la idoneidad de la prestación de y los recursos utilizados según las necesidades reales de las operaciones, se consideró los costes de: mantenimiento, maquinaria, máquina/hora de operación y hora / hombre, el control de las máquinas afectadas a las operaciones.

Con relación a la prestación del servicio y su relación con el cliente, los indicadores analizados relacionan las operaciones con la fiabilidad de éstas y su impacto en la satisfacción al cliente. (Costes por operación, Estado de las entregas, Costes logísticos globales) Teniendo en cuenta que cada indicador supone una serie de variables y mediciones que deben establecerse la construcción de cada uno de ellos se realizó teniendo en cuenta el objetivo de la definición del indicador, definición, fórmula de cálculo, periodicidad de los registros, responsable de la recolección de los datos, fuentes de información, fuentes de verificación, obligación de reportar los datos.

**Perspectiva financiera**

Los indicadores que se asocian a esta perspectiva miden el costo total de la operación logística, es decir el valor monetario de servir a los clientes y planear, admi-

nistrar, adquirir, distribuir y almacenar el inventario con destino a los clientes [9].

La integración del indicador financiero en el área de operaciones es importante, tanto para la empresa como para los trabajadores, es por ello por lo que se plantea la siguiente estrategia: ¿Cómo deberíamos aparecer ante nuestros accionistas para tener éxito financiero? Con esta interrogación se estableció el siguiente objetivo:

*-Mejorar la productividad en el patio de maniobras.*

### Indicador:

Para medir la mejora de la productividad de los activos se determinó la utilización del indicador definido por el cociente entre maniobras realizadas/capacidad del patio, con una frecuencia mensual. Dado que la demanda y la disponibilidad de la terminal es para trabajar determinando la utilización del patio, las metas se las calculará de la siguiente manera:

Indicadores de maniobras realizadas/capacidad de patio según una frecuencia mensual.

Tabla 2. Productividad en Patio de Maniobras.

Patio de Maniobras	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Capacidad Máxima	1800	2285	2091	3404	3572	3890	4200	4890	5320	5780	6240
Frecuencia de Llegada de madrinan	180	191	290	284	297	324	350	408	443	482	520
Productividad	10%	20%	30%	46%	50%	65%	70%	85%	90%	95%	100%

En la tabla 2 se muestra la capacidad del patio de maniobras fue en aumento, lo que muestra una expansión del patio, que impacta en una mayor productividad dado que el arribo de las madrinan con mayor anticipación redujo los costes de sueldo. Este mejoramiento en el nivel de productividad de la empresa impacta favorablemente en la rentabilidad obtenida por la empresa.

### Perspectiva del cliente

La fidelización de un cliente impacta en el posicionamiento de la empresa debido a que incrementa las posibilidades de que atraiga a otros. Sobre esta base se decidió plantear como estrategia la siguiente interrogación:

*¿Cómo deberíamos aparecer ante nuestros clientes para alcanzar nuestra visión?*

La definición de los siguientes objetivos se orientó al mejoramiento en la calidad del servicio que la terminal ofrece a los clientes:

Objetivos:

- Satisfacción del cliente
- Discipular a los clientes nuevos y ya existentes
- Atraer nuevos clientes

Patio de maniobras: Maniobras realizadas  
Capacidad del patio

### Indicador:

Tiempos de respuesta  
Calidad del servicio

$$\text{Volumen de clientes} = \frac{\% \text{ de clientes nuevos}}{\text{Total de clientes}}$$

El incremento de clientes

Indicadores:

Número de nuevos clientes.

Volumen de ventas a nuevos clientes

Costos de los gastos de captación por cada visita

Respuestas de clientes al plan de captación

$$\% \text{ de Respuesta} = \frac{\text{Número de nuevos clientes} \times 100}{\text{No. de solicitudes entregadas}}$$

No. de nuevos clientes.	15
Volumen de embarque a nuevos clientes	1500 a 3000 autos
Costos de los gastos de captación por cada visita	18,000

$$\% \text{ de Respuesta} = \frac{15 \times 100}{35} = 0.34\% \times 42.8571 = 14.57\%$$

El número de clientes nuevos es tolerable, sin embargo, va creciendo poco a poco.

### Perspectiva de procesos internos

En los procesos es en donde se ve reflejado el trabajo realizado de cada trabajador, al dar un servicio profesional, esto encamina a tener clientes fieles, los procesos que se llevan a cabo, de acuerdo con esta perspectiva se plantea la siguiente estrategia:

*¿En qué procesos debemos ser excelentes para satisfacer a nuestros accionistas y clientes?*

Los objetivos para esta perspectiva están encaminados hacia la identificación previa de los procesos críticos que serán el vínculo para entregar propuestas de valor al usuario final.

Productividad de las instalaciones y operaciones.

- Orientar los procesos a la calidad.

Indicador:

Lapso (No. de días, horas, semanas, etc) de tiempo entre solicitud vs. Entrega al cliente.

Eficacia del ciclo de fabricación: (ECF) que se define así:

$$\text{Tiempo del proceso} \\ \text{Tiempo de producción efectivo}$$

ECF = tiempo del proceso + tiempo de inspección + tiempo de transporte + tiempo de espera / almacenaje.

Premisa: Todo tiempo que no sea tiempo de proceso es un tiempo perdido que no añade valor alguno al producto para satisfacer las necesidades del cliente.

$$\underline{624.7 \text{ hrs}} = 26.02$$

24 hrs.

Por lo tanto, el nivel de proceso de producción en la empresa Tuxpan Port Terminal es efectivo.

**Perspectiva de formación y crecimiento**

Esta perspectiva considera 3 factores: capacidad de los colaboradores, capacidad de los sistemas de información y la motivación y delegación de poder (10). Respecto de ellas, algunos indicadores pueden objetivar los logros y alcances vinculados a esta perspectiva. Para medir la capacidad de los colaboradores se utiliza la:

- Satisfacción de los colaboradores
- Retención de los mismos
- Productividad individual
- Rentabilidad de los colaboradores
- Capacitación

Con relación a la capacidad de los sistemas de información, podrían definirse métricas que muestren:

- Porcentaje de procesos de ofrecen retroalimentación en tiempo real.
- Índice de acceso a la información estratégica
- Porcentaje de empleados de atención al cliente de manera directa que cuentan con información en tiempo real para desempeñar su tarea.

Respecto de la motivación y delegación de poder, podrían ser indicadores relevantes, los que siguen:

- Cantidad de sugerencias por empleado
- Cantidad de sugerencias implementadas
- Tasa de mejora de procesos

Aunque centrarse en esta perspectiva en la medición de sus indicadores puede resultar engorroso en empresas jóvenes, debe evaluarse el hecho que éstos impactan directamente en el logro de los resultados previstos en las otras tres perspectivas. De hecho, están ligados casi directa y naturalmente con el desempeño de los colaboradores de todos los sectores y que tienen a su cargo la realización de las acciones previstas en la estrategia organizacional.

En este sentido, considerar como un área central de intervención y mejora continua a esta perspectiva obedece a la necesidad de afrontar los cambios, estimular el crecimiento y crear condiciones de competitividad más ventajosas para la compañía.

Teniendo en cuenta que la formación y el crecimiento de Tuxpan Port Terminal es un caso de estudio proceden de las personas, los sistemas de información y los procesos, esta perspectiva se fundamenta en los siguientes objetivos, estrechamente relacionados con el recurso humano como fuente principal para la consecución de las metas definidas.

- Implementar programas para la motivación de los empleados.
- Fomentar la cultura organizacional y de procesos.
- Tener una cultura de mejora continua
- Atraer y retener a los empleados de alto desempeño

**Indicador:**

- Retención de los colaboradores: tiempo de creación del puesto/antigüedad promedio de los colaboradores \* % de la plantilla de puestos que deben ser recalificados.

\* Tiempo necesario para llevar a los empleados a los niveles de competencia deseados.

\* Costos de la formación de empleados.

% de la plantilla de puestos que deben ser recalificados.	35%
Tiempo necesario para llevar a los empleados a los niveles de competencia deseados.	3 meses
Costos de capacitación	25 mil

Perfeccionamiento de la plantilla = % de la plantilla de puestos que deben ser recalificados por el tiempo de capacitación entre el costo de capacitación por parte de la empresa.

Aplicando la fórmula se determina un 42%.

**Mapa estratégico de Tuxpan Port Terminal S.A. de C.V.**

Este mapa estratégico (Figura 2) es una representación visual de la estrategia de la organización. Para la comprensión de todos los miembros de la compañía describe el proceso a través del cual ella crea valor a través de todas las relaciones de causa efecto entre las cuatro perspectivas consideradas en el Cuadro de Mando Integral (financiera, del cliente, de los procesos internos y de aprendizaje y crecimiento).

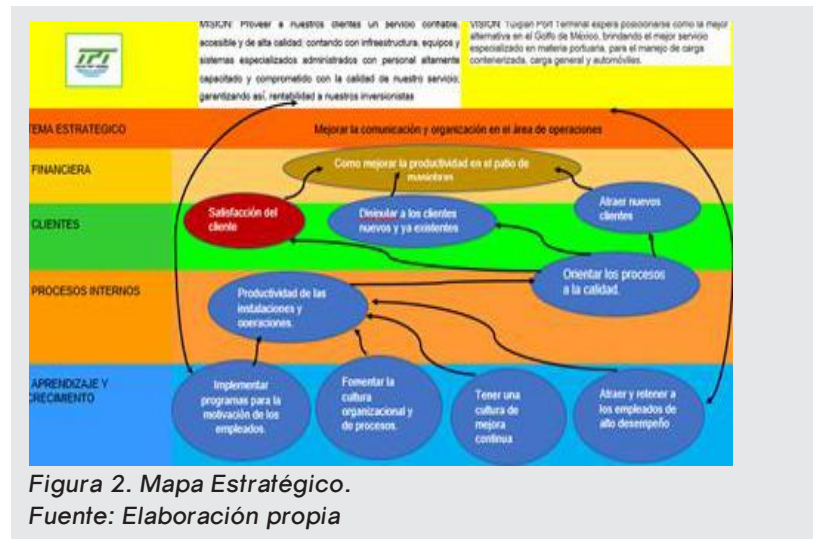


Figura 2. Mapa Estratégico. Fuente: Elaboración propia

En la perspectiva financiera se optó por sintetizar como indicador de valor el mejoramiento de la productividad en el patio de maniobras.

Para la perspectiva del cliente en donde operan indicadores como la satisfacción al cliente, la retención y crecimiento, se definieron disciplinar (nuevos y existentes) y atraer nuevos.

Para la perspectiva de los procesos internos en el caso de TPT se han definido productividad de las instalacio-

nes y operaciones por una parte y orientación de los procesos a la calidad por la otra.

Para la perspectiva de aprendizaje y crecimiento que identifica al capital humano, a los sistemas de información y al clima organizacional, se definieron la implementación de planes de motivación, el fomento de la cultura organizacional fundada en procesos, la instalación de la mejora continua y el reclutamiento y retención de empleados de alto desempeño.

Estas dos últimas perspectivas en conjunto son las que describen, básicamente, el modo en que la organización implementará su estrategia. La conformación de este plan estratégico supone para TPT un proceso de involucramiento del nivel de alta dirección para comunicar con claridad y compromiso la estrategia. Al mismo tiempo se constituye como una herramienta central para la comunicación organizacional que posibilita a todos los integrantes la comprensión de la estrategia traducida en acciones que pueden llevar a cabo para contribuir al éxito de la compañía. Para el diseño del mapa estratégico, se plantea como estrategia central el mejoramiento de la comunicación y de la organización en el patio de maniobras; como se observa en el esquema, es condición necesaria que se profundice la comunicación y comprensión de la Misión y Visión estratégica de la empresa hacia todos los sectores y actores internos de la compañía. Este proceso de profundización de la identidad organizacional que caracteriza a las empresas en la etapa de consolidación resulta crucial para TPT. En este sentido la difusión del plan estratégico aquí presentado constituye una primera etapa en la consolidación de la comunicación e identidad institucional.

### Diseño del balanced scorecard

En este apartado se establece la conjunción de las definiciones plasmadas en el Plan Estratégico en articulación con los indicadores definidos para cada una de las perspectivas en el marco del análisis de la empresa TPT ver Tabla 3.

Tabla 3. *Balanced ScoreCard para el área de operaciones de Tuxpan Port Terminal S.A. de C.V.*

Perspectiva	Objetivo	Indicador	Unidad de medida	Objetivo	Frecuencia de medición	Optimo	Tolerable	Deficiente	Resultado	Responsable
Financiera	garantizar la sostenibilidad de la empresa	Utilización de los activos/estrategias de inversión	horas	8	mensual	6	6	4	8 %	Finanzas
Clientes	Aumentar el número de clientes	El incremento de clientes	porcentaje	20	anual	20	15	10	14.57	Jefe de marketing
Procesos	Obtener menos errores en la hora de embarque	Indicadores de la duración del proceso	hora	24	mensual	24	28	30	26.02	Jefe de operaciones
Capacidad de aprendizaje	Contar con un equipo eficiente de trabajo	Perfeccionamiento de la plantilla	porcentaje	50	anual	50	35	25	42%	Jefe de recursos humanos

En el Balanced ScoreCard la escala fue establecida por la alta dirección de la compañía considerado como optimo en cada una de las perspectivas dentro de las cuales la perspectiva financiera se encontró en

un nivel óptimo, siendo la perspectiva cliente, proceso y capacidad de aprendizaje en el rango tolerable. Es importante mencionar que estos rangos pueden variar dependiendo de como vaya logrando la empresa eficientar la comunicación dentro de su área.

De esta manera se logró resaltar la importancia de la comunicación en el área de procesos, así como la necesidad en el aumento de clientes, de que se tiene que ir perfeccionando cada vez mas la plantilla a través de la capacitación motivando cada vez mas a las personas que laboran dentro de la empresa para lograr una mayor productividad.

### CONCLUSIONES

Con el Balanced ScoreCard se logra llegar a cada una de las áreas de la cadena de suministro de la empresa Tuxpan Port Terminal, descubriendo procesos en los cuales no se realizaba ningún tipo de gestión y son procesos en los que la organización debe sobresalir para establecer una ventaja competitiva. Con el mapa estratégico se logra identificar los objetivos estratégicos, las iniciativas y mejora de los procesos. Con las metas relacionadas con desempeño sobresaliente en cuestiones financieras y de clientes se desglosan en metas de largo plazo de satisfacción y retención de clientes, desempeño del proceso interno, capacidades de recursos humanos y tecnologías de la información, así como alineación organizacional. TPT es una empresa que se dedica a la prestación de servicios, enfatizando en los procesos internos y la capacidad de aprendizaje en donde se han propuesto la mayoría de iniciativas que son para la mejora continua en cuanto a la producción del servicio que se ofrece, así como al desarrollo integral de los trabajadores, al tener una mayor comunicación, se trabajará mejor, y así se tendrán clientes satisfechos. Posteriormente se pretende aplicar estrategias para lograr que la empresa logre alcanzar los niveles óptimos que se ha propuesto. También se pretende aplicar este método de Balance Scorecard en otras empresas con la finalidad de mejorar la calidad de su servicio.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Álvarez M., M.Y.; Chávez R., M. Y.; Moreno V., S. A. (s.d.) *El balanced scorecard, una herramienta para la planeación estratégica, consultado el 14 de septiembre de 2019 en [https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no66/17a-el\\_bsc\\_una\\_herramienta\\_para\\_la\\_planeacion\\_estrategicax.pdf](https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no66/17a-el_bsc_una_herramienta_para_la_planeacion_estrategicax.pdf)*

[2] González S., M., Calderón P., L. Y Solís J. M. A. (2018) *Implementación del Modelo Balanced ScoreCard (BSC) para la Medición y Evaluación de la Productividad, Revista de Negocios & PyMES, Vol.4 No.11 23-36. Consultado el 01 de julio de 2019 [http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Negocios\\_y\\_PyMES/vol4num11/Revista\\_de\\_Negocios\\_&\\_PyMES\\_V4\\_N11\\_3.pdf](http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Negocios_y_PyMES/vol4num11/Revista_de_Negocios_&_PyMES_V4_N11_3.pdf)*

[3] Alveiro M. C. (2011). El balanced scorecard como herramienta de evaluación en la gestión administrativa, *Revista Científica "Visión de Futuro"*, vol. 15, núm. 2. Consultado el 17 de mayo de 2019 <https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935478003.pdf>

[4] Arriaga L., F.G.; Ávalos C., D.; Martínez O., E. (2017) Propuesta de estrategias de mejora basadas en análisis FODA en las pequeñas empresas de Arandas, Jalisco, México. *Ra Ximhai*, Vol. 13, No. 3 pp. 417-424. Consultado el 24 de octubre de 2019 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070025>

[5] Arango S., M.D.; Ruiz M. S.; Ortiz V., L. F.; Zapata C., J.A. (2017) Indicadores de desempeño para empresa del sector logístico: Un enfoque desde el transporte de carga terrestre. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 25, No. 4, Pag 707-720 Consultado el 24 de octubre de 2019 <https://www.redalyc.org/pdf/772/77254022014.pdf>

[6] Martínez Chaparro L. A. (2017) Diseño de un plan estratégico y cuadro de mando integral (balanced scorecard) para la empresa de asesoría y consultoría integral de Servicios Especializados Acies Group S.A.S, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Sede Sogamoso Programa de Administración de Empresas. Consultado 02 de mayo 2019 <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2217/1/TGT-817.pdf>

[7] Niven, Paul R. (2006) *Balanced Scorecard step-by-step: maximizing performance and maintaining results*, 2nd edition. Hoboken, N.J, USA: John Wiley & Sons.

[8] Carpio F., T. L.; Beltrán M., L. D.; Duque A. F. J.; Pérez Benítez, H. A.; Fierro A. J. P. Y Tobar F. G. W. (2019) Desarrollo de un Balanced Scorecard aplicado a una Universidad en el área de Gestión Social del Conocimiento. *Revistas espacios*, Vol. 40, No. 15, Pág. 9. Consultado el 02 de julio de 2019 <http://www.revistaespacios.com/a19v40n15/a19v40n15p09.pdf>

[9] Araújo S. F., La Torre Martínez J.M.; López H. A. M.; Bastos P. S. (2011) El Clima Organizacional en el Diseño del Balanced Scorecard: Evaluación Psicométrica de un Instrumento de Medida Contabilidate Vista & Revista, vol. 22, núm. 1, pp. 107-141. Consultada el 17 de mayo de 2019, [www.redalyc.org › service › redalyc › downloadPdf](http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf)

[10] Kaplan, R. & Norton, D. (2002) *Cuadro de Mando integral*, Barcelona ISBN: 978-84-8088-504-1; 321 pag.



Multidisciplinario  
e  
ingenierías

---

---

Ingeniantes

# Activos ambientales y productividad como estrategia de crecimiento económico en México



## Colaboración

Yesenia Juárez Rivera; Marco Polo Santos Almeyda; Irbin Salomón Zavaleta Arellanes; Raúl Aguilar Rivera, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

**RESUMEN:** La conciencia colectiva sobre los recursos naturales y su escasez ha reorientado la visión de la economía bajo el dilema de una mayor productividad, donde la tendencia actual sobre el crecimiento económico se sustenta en el conocimiento. La presente investigación determinó la influencia de la productividad empresarial que se basa en la economía del conocimiento y su relación con el uso de los activos ambientales en algunas regiones de México, a través de una metodología exploratoria y de análisis. El desarrollo del proyecto comprendió dos fases; en la primera se evaluó la influencia de la productividad empresarial sobre la disponibilidad de los activos ambientales en México y su relación con el crecimiento económico; en la segunda se analizó si la economía del conocimiento proporciona los elementos suficientes para determinar la restricción que se tiene sobre ella, es decir, la intensidad del uso de los recursos naturales en la productividad empresarial.

**PALABRAS CLAVE:** activos ambientales, productividad, crecimiento económico.

**ABSTRACT:** Collective awareness about natural resources and their scarcity has reoriented the vision of the economy under the dilemma of greater productivity, where the current trend on economic growth is based on knowledge. This research determined the influence of business productivity that is based on the knowledge economy and its relationship with the use of environmental assets in some regions of Mexico, through an exploratory and analytical methodology. The development of the project will comprise two phases; in the first one, the influence of business productivity on the availability of environmental assets in Mexico and its relation to economic growth was evaluated; In the second one, it was analyzed whether the knowledge economy provides sufficient elements to determine the restriction on it, that is, the intensity of the use of natural resources in business productivity.

**KEYWORDS:** environmental assets, productivity, economic growth.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los recursos naturales y la protección al medio ambiente han cobrado gran relevancia, derivado de las repercusiones que estos tienen en la auto sustentabilidad de las regiones.

El aprovechamiento de sus recursos resulta indispensable para la generación de empleos y el aumento de la productividad en ciertos estados como Oaxaca, Campeche, Tabasco, Veracruz, Chiapas, que basan su economía en actividades turísticas, razón por la cual se hace necesario la protección de estas zonas que son catalogadas como activos ambientales, debido a estos proporcionan la comercialización de bienes y servicios ecosistémicos que contribuyen al mejoramiento de la economía en la región.

La revisión actual de la temática en el contexto nacional muestra indicios de la relación entre los activos ambientales y la economía del conocimiento, por otra parte, la perspectiva de la productividad ha sido poco explorada por lo que requiere de análisis de esta. Es por ello, que tratar de determinar la influencia que tiene la productividad empresarial a través de la economía del conocimiento con el uso de los activos ambientales en las diferentes regiones de México, que permite conocer el alcance económico que estas aportan.

Una vez obtenido los resultados de la presente investigación se podrá visualizar un impacto positivo en las políticas públicas que adopta el gobierno, que permitirá una mejor distribución del presupuesto asignado para la conservación y preservación de estas zonas. Además de que beneficiará al sector terciario, es así, que los empresarios podrán seguir operando sus negocios y produciendo empleos para sus pobladores, así como atraerá inversión de capitales y el desarrollo económico.

## MARCO TEÓRICO

A nivel Internacional, existe el marco central del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE) adoptado como estándar internacional por la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas en su cuadragésimo tercer período de sesiones, en marzo de 2012, es el primer estándar estadístico internacional de contabilidad ambiental y económica. El SCAE es un marco conceptual multipropósito para comprender las interacciones entre la economía y el ambiente, y describir el stock de activos ambientales y sus variaciones. Coloca las estadísticas sobre el ambiente y su relación con la economía en el centro de las estadísticas oficiales [1].

En Colombia, existe la Cuenta Satélite (CSA), que muestra indicadores derivados de la misma cuenta que permite medir las diferentes relaciones que establecen entre el crecimiento económico y el ambiente con la finalidad de aprovechar de manera eficaz y la productividad de los recursos naturales, así como su consumo. Es decir, a través de la medición del agotamiento y degradación de los stocks de recursos naturales y los flujos de bienes y servicios [2].

En México, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), presentan indicadores de Desarrollo Sustentable en México, cuyos objetivos son, en primer lugar proporcionar un conjunto de indicadores que contribuyan al conocimiento de la problemática de sustentabilidad y al diseño de estrategias y políticas en esta materia en nuestro país, permitido poner a prueba la disponibilidad, la capacidad y el potencial de las fuentes generadoras de información y de los

instrumentos de captación de ésta para la elaboración de indicadores de sustentabilidad [3].

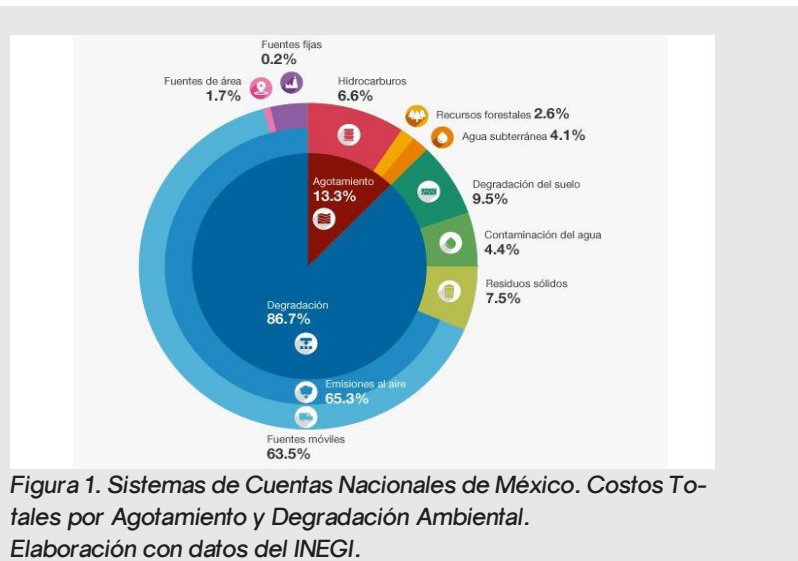


Figura 1. Sistemas de Cuentas Nacionales de México. Costos Totales por Agotamiento y Degradación Ambiental. Elaboración con datos del INEGI.

Se muestra el valor económico del impacto al medio ambiente y los recursos naturales derivado de las actividades económicas en referencia al Producto Interno Bruto, así como el monto erogado para la protección del medio ambiente.

## ACTIVO AMBIENTAL

“Es aquel territorio o área que contiene un elemento de conservación y que ofrece bienes y servicios ecosistémicos. Elemento incorporado al patrimonio de una entidad con el objeto de ser utilizado de forma duradera en su actividad, cuya finalidad principal sea la minimización del impacto medioambiente y la protección y mejora del medio ambiente, incluyendo la reducción o eliminación de la contaminación futura de las operaciones de la entidad” [4].

Los activos ambientales forman parte importante en el desarrollo sostenible de la región en la que se encuentra situada, ya que al tener recursos naturales pueden realizar distintas actividades y/u operaciones económicas que activan simultáneamente su desarrollo social y principalmente económico. En el momento en que los activos son utilizados y aprovechados por los habitantes de la región, estos por tradición buscan la preservación de ellos, y los cuidan con gran ímpetu ya que los consideran indispensables para subsistir.

## PRODUCTIVIDAD

“Según el diccionario de la Real Academia Española (RAE) [5], la productividad es un concepto que describe la capacidad o el nivel de producción por unidad de superficies de tierras cultivadas, de trabajo o de equipos industriales.”

Cuando se habla de productividad se conecta automáticamente con la eficiencia del ámbito en que se presente, con el concepto dado por la RAE, la productividad se presenta básicamente en el aprovecha-



miento máximo de recursos, horas hombre de trabajo, así como horas de trabajo de los equipos o máquinas de la industria. Al tener en contexto que los activos ambientales forman parte fundamental en el desarrollo de las actividades primarias y que estas son de alguna manera realizadas por las personas que se encuentran dentro de la región donde se sitúan los mismos, incursionando a los activos ambientales a la productividad.

### ESTRATEGIA

El crecimiento económico es una medida del bienestar de la población de un país o región económica y del éxito de las políticas económicas. Implícitamente se supone que un elevado crecimiento económico es beneficioso para el bienestar de la población, es decir que un elevado crecimiento económico sería un resultado deseado por las autoridades políticas y por la población de un país. Aunque es una de las medidas más utilizadas, tiene inconvenientes que es necesario tener en cuenta:

- No tiene en cuenta externalidades, si el aumento del PIB proviene de actividades genuinamente productivas o de consumo de recursos naturales.
- Adicionalmente puede suceder que se evalúen políticas económicas mediante el uso del crecimiento económico en periodos de tiempo determinados sin tener en cuenta transferencias intergeneracionales de recursos, como endeudamiento o consumo de recursos renovables.
- El crecimiento económico tampoco tiene en cuenta lo que sucede con la distribución del ingreso más progresiva implica un mayor bienestar. A pesar de todo esto, la medida de crecimiento económico es muy útil para analizar muchos elementos de la economía y la política económica.”
- Aunque el crecimiento económico no ha sido utilizado como un indicador de desarrollo, ya que este se realiza mediante el PIB, el crecimiento económico se encuentra adherido al crecimiento del PIB mediante una red de secuencia en las actividades, debido a que cuando en las comunidades existe un crecimiento económico el desarrollo es eminente en beneficio de la sociedad.

### AGENDA 2030

Durante el año del 2015, integrantes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se reunían para tratar un asunto de gran relevancia, “La búsqueda del desarrollo sustentable global”

El deterioro creciente de los recursos naturales crea la necesidad de valorar los servicios ambientales, incluidos los de la biodiversidad. La valoración económica de ésta se ha focalizado en bienes y servicios sin mercado, lo cual es complicado [6].

En México la Comisión Nacional Forestal implementa el pago por servicios ambientales hidrológicos, cuyo

objetivo es reducir la tasa de deforestación en zonas críticas para recarga de agua. Aunque se da seguimiento a los proyectos aprobados, no se tiene un análisis de los beneficios que genera este mecanismo. Generar información para evaluar estos beneficios juega un papel clave para poder obtener los resultados deseados [7].

América Latina ha sido una de las regiones en donde las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) inició su uso de una manera pausada. A pesar de que, los primeros computadores llegaron a las grandes empresas, el proceso de los computadores personales (PC) fue lento en la población. Igualmente, el análisis de su importancia y uso se dio después de la década de los años 2000 [8].

Los costos ambientales son percibidos ampliamente, pero por su naturaleza es difícil medirlos; sin embargo, el INEGI ha creado el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM), el cual vincula la información macroeconómica de las principales variables del Sistema de Cuentas con el 55% del total, y el sector de actividades de producción de hogares con el 15% en promedio para el periodo de 1995-2006. Se presenta el Consumo de Capital Fijo (CCF) como porcentaje del PIB y a precios corrientes, el cual es equivalente a los CTADA para cada uno de los años del periodo; esto no indica que lo que se deprecia de nuestro aparato productivo es similar a lo que se está desperdiciando al agotar y degradar los recursos en México [9].

Las variables relacionadas con los recursos naturales y el ambiente permiten identificar tanto los cambios en los activos como la ampliación del concepto de acumulación. El concepto de acumulación se refiere al cambio en el balance de activos económicos producidos por la incorporación de nuevos bienes de capital a lo cual se le denomina acumulación neta de activos económicos producidos [10].

Los ordenamientos territoriales tienen como finalidad establecer de manera equitativa y con justificación técnica los destinos presentes y futuros del uso del suelo, ya sea en una pequeña región o a escalas de meta región, sin perder de vista su dinamismo natural e inducido por el hombre. De esta forma, el ordenamiento ecológico de un territorio está estrictamente regulado por los tres órdenes de gobierno en México: Federal, Estatal y Municipal [11].

Para transitar del crecimiento económico al desarrollo sustentable es necesario pasar por categorías como desarrollo económico y social. El crecimiento económico es condición necesaria pero no suficiente para alcanzar una sociedad desarrollada, dado que ésta requiere adicionalmente otros componentes, como son: distribución equitativa del ingreso

entre estratos sociales de la población y regiones, nivel y calidad de vida decorosos, acceso a servicios básicos, tecnología avanzada para producción de bienes y servicios, independencia y diversidad del comercio exterior [12].

## MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente proyecto se determinó utilizar una metodología exploratoria y descriptiva lo que facilitó el análisis de las variables y la relación entre las mismas.

Se utilizaron datos del Banco Mundial, para la realización del análisis de información entre la productividad y el crecimiento económico en influencia los activos ambientales con determinación de gráficas que muestran el acercamiento o la dispersión de ambas.

El fundamento teórico de la investigación se centró en la teoría endógena del crecimiento económico, la relación entre la productividad y la economía del conocimiento, la teoría general de los sistemas; y la de asimetría de la información.

Es decir, la investigación se centró en dos fases, siendo las siguientes:

Cuadro 1. Descripción simplificada de fases del proyecto.  
Elaboración Propia.

Fase 1	Fase 2
Se realizó una búsqueda de información teórica y estadística para posteriormente generar un análisis con la información recabada de la base de datos del banco mundial principalmente	Una vez generada una base de datos propia se trasladó a una expresión gráfica, así como, una relación con otro factor o factores con lo que se obtuvo una comparación de variables resultando así una relación de datos que benefician al análisis de la investigación.

## RESULTADOS

En relación con los datos que se obtuvieron a través del Banco Mundial en un periodo 2010 – 2016 en temas de productividad y crecimiento económico, se determinó la relación que existe entre ambos factores. En un estudio previo se analizó la influencia de la productividad empresarial a lo largo de un periodo determinado como se muestra en la Figura 2, y sobre la disponibilidad de los activos ambientales en México y su relación con el crecimiento económico.

Por otro lado, se analizó en un periodo de 2010 – 2017, el indicador del crecimiento económico expresado en la Figura 3, para analizar si la economía del conocimiento proporciona los elementos suficientes para determinar la restricción que tiene sobre ella, es decir, la intensidad del uso de los recursos naturales en la productividad empresarial.

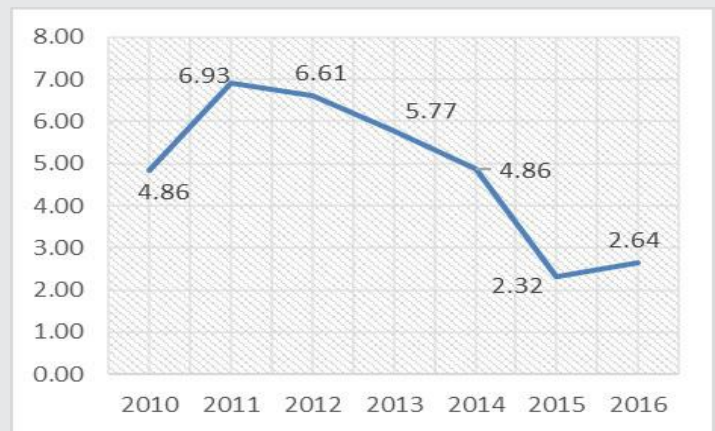


Figura 2. Productividad.  
Elaboración Propia, con datos del Banco Mundial

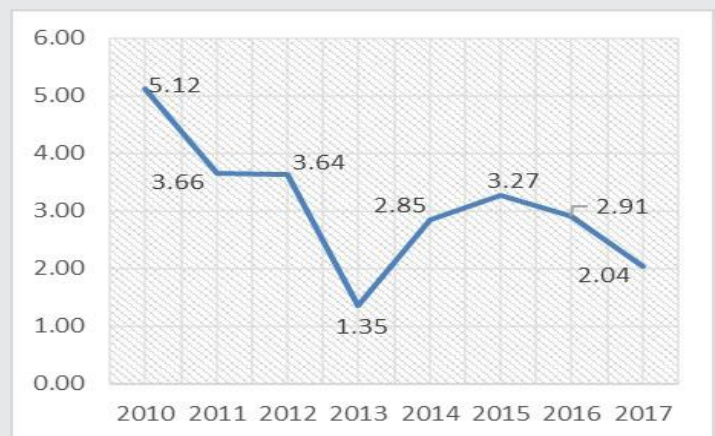


Figura 3. Crecimiento Económico.  
Elaboración Propia, con datos del Banco Mundial

Al estudiarse ambos indicadores en conjunto se puede observar que al unirse pueden generar un crecimiento en paralelo, el cual refleja la influencia que tiene la productividad en el desarrollo del crecimiento económico representado en la Figura 4.

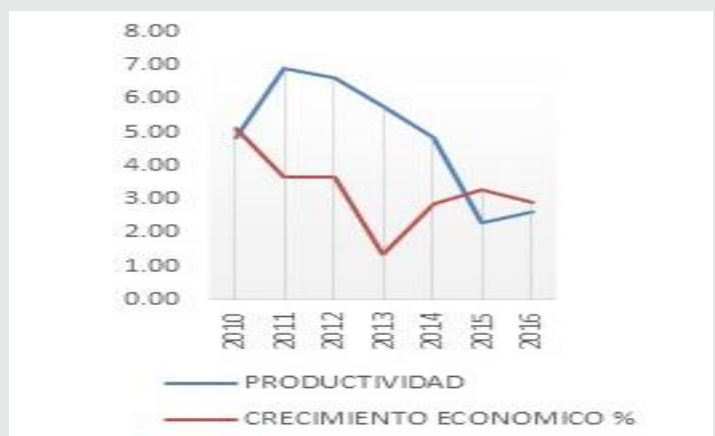


Figura 4. Relación Productividad- Crecimiento Económico.  
Elaboración Propia, con datos del Banco Mundial

Haciendo un análisis de este caso, en 2010 hubo un incremento de 4.86% y 5.12% en la productividad y el crecimiento económico respectivamente.

En 2011 existió una variación considerable en el incremento de la productividad de 2.07% con respecto al año anterior y en el crecimiento económico una variación de menos 1.46%, lo que refleja que las variables que están inmersas en los indicadores afectan la influencia de la productividad en el crecimiento económico.

En 2012 el crecimiento económico presentó un desarrollo de 3.64% lo que representa una disminución en base al primer año del análisis y en la productividad un porcentaje 6.61% de la misma manera es una pequeña disminución en comparación al año anterior.

En todos los periodos no puede ser proporcional ya que influyen otros factores y variables en ambos indicadores que hacen que la proporcionalidad sea variable, como puede observarse en el periodo 2013 en el que el incremento de la productividad fue de 4.86 % y 2.85% en el crecimiento económico, teniendo una diferencia de 2% en relación con estos datos.

En el año 2014 la productividad se ve beneficiada con un desarrollo del 4.86% lo que implica que impacta de manera positiva al crecimiento económico, en el cual se nota un desarrollo de 2.85%, 1.50% más que el año anterior.

Con los factores que influyen en la productividad y el crecimiento económico, se encuentran en constante variación hace que la predicción de obtener un resultado deseado sea menos probable que suceda y con esto los indicadores pueden obtener resultados desproporcionados.

En 2015, existe una disminución en los porcentajes de desarrollo en la productividad y el crecimiento económico, obteniendo resultados de desarrollo de 2.32 y 2.91% respectivamente, en este contexto se puede decir que la productividad puede favorecer al crecimiento económico aun cuando este tenga una disminución en su desarrollo.

Derivado de lo anterior, se puede apreciar que los activos ambientales en unión con la productividad y el crecimiento económico sirven de base para la realización de alguna actividad económica en las regiones que preservan los activos ambientales y los utilizan de manera eficiente contribuyen al crecimiento económico.

En cada región del país, se cuenta con distintos tipos de activos ambientales lo que determina la relación de la actividad económica apropiada y el uso de los activos ambientales que son aprovechados de la manera más eficiente para generar un incremento en la pro-

ductividad empresarial en conjunto con el crecimiento económico de México.

## CONCLUSIONES

En medida que la productividad tenga un incremento en su desarrollo impacten independientemente de otros factores al crecimiento económico, depende de la región.

Al estudiar la productividad en relación con el crecimiento económico se pueden apreciar dos momentos importantes en los periodos 2010, 2013 y 2015 en síntesis se puede afirmar que para exista un crecimiento económico se necesita la productividad influenciada por los activos ambientales que son determinados por la región y por la actividad económica de la misma.

Por consiguiente, la importancia de los activos ambientales son un tema que actualmente las empresas han comenzado a dar una relevancia significativa derivado del entorno del desarrollo sostenible que es basado en la agenda 2030 establecida por la ONU que la integran 17 objetivos para el alcance de sostenibilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Fondo Monetario Internacional, *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica 2012, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Banco Mundial. ISBN 987-921-1615630. Obtenido el 1<sup>o</sup> de noviembre de 2019, de la página electrónica: <https://www.cepal.org>*

[2] DANE. *Dirección Nacional de Estadística. Gobierno de Colombia. Obtenido el 1<sup>o</sup> de noviembre de 2019, de la página electrónica: <https://www.dane.gov.co>*

[3] INEGI. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. Obtenido el 1<sup>o</sup> de noviembre de 2019, de la página electrónica: <http://www.nies.gov.jp>*

[4] Cortolima. (n.d) *Corporación Autónoma Regional de Tolima. República de Colombia. Obtenido el 21 de marzo, de la página electrónica: <https://www.cortolima.gov.co/glosario/activos-ambientales-glosario-terminos>*

[5] *Real Academia Española (2010). Obtenido el 21 de Marzo de la pagina electronica: <https://www.rae.es/>*

[6] Romo-Lozano, J.; López-Upton, J.; Vargas-Hernández, J. y Ávila-Angulo, M. (2017). *Economic valuation of the forest biodiversity in Mexico, a review. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, XXIII (1), 75-90.*

[7] Zúñiga Vásquez, J. M.; Martínez López, E. A.; Navarrete Gallardo, C.; Graciano Luna, J. J.; Maldonado Ayala, D., y Cano Mejía, B. (2018). Análisis ecológico de un área de pago por servicios ambientales hidrológicos en el ejido La Ciudad, Pueblo Nuevo, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(73), 27-36

[8] INEGI (2016) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido el 22 de Marzo de la página electrónica: <https://www.inegi.org.mx/>.

[9] Quiroga Parra, D.J.; Torrent Sellens, J.; Murcia Zorrilla, (2014) C.P. Information technology in Latin America, its impact on productivity: A comparative analysis with developed countries. *Revista.unal.edu.co* Vol 84. Núm 200. Pág 281-290 ISSN 0012-7353

[10] Joan Torrent-Sellens, D. Q. (March 2015). Las nuevas fuentes de productividad en América Latina y la OECD. *Universitat Oberta de Catalunya*.

[11] Pérez Calderón, Jesús (2010) La Política Ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El Cotidiano*, num 162 pp.91-97 Universidad Autónoma Metropolitana

[12] Rivera, P.; Foladori G. (2006) Reflexiones sobre la Contabilidad Ambiental en México

[13] Jordán, R.; Simioni D. (2003) Gestión Urbana para el Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. CEPAL

[14] Almagro Vázquez, Francisco. (2004) Medición del Desarrollo Sustentable, reto de las cuentas nacionales. La experiencia de México en el cálculo del producto interno bruto ecológico. *Revista Latinoamericana de Economía*. Vol 35, núm 139, pp. 93-119 UNAM



Multidisciplinario  
e  
ingenierías

---

---

Ingeniantes

# Un análisis del sistema de pensiones de los gobiernos subnacionales. Caso Tonila, Jalisco



## Colaboración

Martha Rocío Chávez Guzmán; Elvia Lorena Torres Alejandre; Samantha Castillo Cárdenas; Jesús Armando Cortés López, Instituto Tecnológico de Colima

**RESUMEN:** Esta investigación fue impulsada ante la problemática actual de la ausencia de un sistema de pensiones en gobiernos subnacionales y sobre todo el déficit en caja debido a que el pago de pensiones es financiado a través del gasto corriente reflejándose una menor inversión pública. El Ayuntamiento de Tonila es parte de este objeto de estudio siendo uno de los municipios que carece de un sistema de pensiones y que además se enfrenta ante una escasez financiera, por lo que es necesario realizar un análisis sobre la viabilidad de integrar al municipio el Sistema de Pensiones del Estado de Jalisco.

Se realizó una investigación cualitativa de diseño transeccional con el propósito de aportar la información necesaria que guíe a la toma de decisiones del municipio y propiciar un cambio económico y administrativo. Como resultado de esta investigación se obtuvo las alternativas de integración a un sistema de pensiones estatal, así como también el análisis financiero de esta acción a largo plazo.

**PALABRAS CLAVES:** beneficio definido, contribución definida, gasto público corriente, modalidad 38, sistema de pensiones.

**ABSTRACT:** This research was driven before the current problem of the absence of a pension system in subnational governments, and especially the deficit in cash due to the payment of pensions is financed through the spending power reflecting a lower public investment. The City of Tonila is part of the subject of this study being one of the municipalities that lacks a pension system and that in addition to faced with a shortage of financial, so it is necessary to perform an analysis on the feasibility of integrating the municipality to the Pension System of the State of Jalisco. We conducted a qualitative research type action research with the purpose of providing the necessary information to guide the decision making of the municipality and facilitate economic change and administrative. As a result of this research we obtained the alternative of integration to a state pension system, as well as the financial analysis of this long-term action.

**KEY WORDS:** defined benefit, defined contribution, public current expenditure, mode 38, pension system.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de pensiones en el mundo surgen a partir de las necesidades económicas en la edad avanzada, de manera que el gobierno se comprometió a ofrecer generosas pensiones al momento de la vejez.

Debido a la estructura poblacional del siglo XX, manejar un sistema de pensiones amplio era posible ya que la cantidad de jóvenes en el ámbito laboral era mayor que la cantidad de jubilados.

Los cambios demográficos significativos generaron presión fiscal debido a la prolongada transición de las reformas pasadas y los numerosos esquemas en los que aún no hay reformas [1]. Países como Chile, Japón y Finlandia realizaron en la última década mejoras en el diseño de los sistemas de pensiones aumentando su sostenibilidad financiera.

Al igual que otros países, “México también demostró importantes cambios demográficos: se redujo la tasa de natalidad, incrementó la esperanza de vida y se redujo la estabilidad laboral por lo que la relación entre cotizantes y pensionados es de poco más de seis a uno” [1]. El cambio en la estructura de la población, donde cada vez hay mayor número de personas de mayor edad se observa en la proyección de la pirámide poblacional de 1950 a 2050 presentada por la Comisión Nacional del Ahorro para el Retiro. (Ver gráfico 1)

Tomado del sitio web de Consar

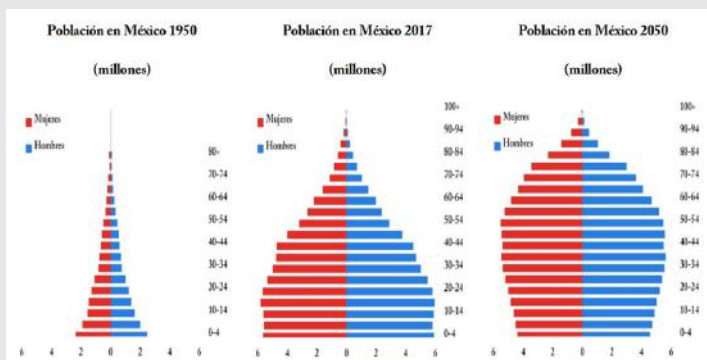


Gráfico 1. Población por grupos de edad 1950-2050 en México

Estos cambios demográficos dieron como resultado una insostenibilidad en los sistemas de pensiones de Beneficio Definido impulsando a reformar este esquema por un sistema de Contribución Definida.

En este sentido, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) establece que:

Todos los empleados del sector privado que cotizan a partir del 1 de julio de 1997, así como los empleados del sector público federal que ingresaron a inicios del 1 de abril de 2007 tienen una cuenta individual en el SAR con un sistema de contribuciones definidas que está integrado por una unión tripartita entre empresas, empleados y gobierno.

Estos trabajadores solamente tendrán derecho a las contribuciones depositadas en sus cuentas individuales. [2]

Así como a nivel internacional y nacional el problema demográfico procedió a realizar reformas en la estructura en el régimen de pensiones, así mismo el ayuntamiento enfrenta una situación derivada del progresivo aumento en su plantilla laboral. ¿En qué afecta esta situación en sus finanzas públicas? Bajo este contexto, esta investigación tiene como objeto de estudio el Ayuntamiento de Tonila en el Estado de Jalisco; administración pública que realiza el pago de pensiones a su personal no activo con recursos líquidos.

Cada vez que un trabajador se pensiona se necesita a otro para cubrir el puesto vacante; sin embargo, el

ayuntamiento tiene que pagar la pensión del personal no activo y el sueldo del nuevo personal. Debido a que las pensiones se pagan en forma vitalicia existe la probabilidad que uno o más trabajadores vivan hasta 20 años más después de haberse retirado laboralmente, provocando una progresiva inflación en el pago de nómina.

Al incrementarse la cantidad de dinero que la administración tiene que pagar por concepto de nómina, provocará que la tesorería opte por tomar recursos económicos de otras partidas presupuestales que son destinadas para la inversión pública del municipio, o se considere incrementar la recaudación pública con el objetivo de financiarse ante los elevados gastos.

La falta de recursos para la inversión suscita a una disminución de la calidad de vida de los habitantes del territorio subnacional. Al hablar de calidad de vida, nos referimos al bienestar social a dominios de la salud pública, transporte público, seguridad, servicios de agua y actividades recreativas que el gobierno administra con los recursos otorgados de gobierno federal.

Debido a que las administraciones municipales duran únicamente 3 años, resulta difícil realizar una planeación para el pago de pensiones a mediano y largo plazo. Los gobiernos municipales se preocupan por los gastos que se efectúen durante su administración, aunado a esto, se opta que el pago de pensiones se realice por gasto corriente sin realizar una proyección a largo plazo sobre la insostenibilidad financiera que puede implicar esta práctica.

Es por ello la importancia de esta investigación, pues se analizan las distintas posibilidades de llevar un esquema de pensiones que salvaguarde las finanzas del municipio en un mediano y largo plazo y que además proteja la integridad de los trabajadores a través de la seguridad social.

Miranda y Figueras resaltan en su artículo “Una mirada a los pasivos contingentes de las pensiones de vejez para los trabajadores del sector público en las entidades federativas en México” que en el caso mexicano la mayoría de los programas de pensiones en los estados se encuentran en déficit, es decir, que las reservas no alcanzarán para cubrir los pagos esperados cuando los trabajadores comiencen a jubilarse, en algún momento futuro. Este problema de viabilidad financiera de los programas de pensiones de vejez es creciente con el paso del tiempo en economías emergentes, como México, que son muy dependientes de recursos externos y presentan prácticas de opacidad de información y sistemas de regulación y cumplimiento fiscal débiles. El Banco Mundial señala que la invisibilidad del costo fiscal de las obligaciones derivadas de pasivos contingentes no sólo induce al sobreendeudamiento. [3]

En la opinión de HR Ratings en su reporte sectorial “Sistema de pensiones subnacionales” poseer un sistema propio de pensiones favorece las finanzas de los gobiernos subnacionales al contar con reservas actuariales para el pago futuro de pensiones y no estar incorporados de manera directa al Gasto Corriente de la Entidad. Lo anterior influye en el Balance Financiero del Estado, y como consecuencia, en la calificación crediticia de la Entidad. [4]

El objetivo de esta investigación es analizar la situación financiera actual del ayuntamiento respecto al pago de pensiones por gasto corriente y proponer alternativas de solución para integrar a los trabajadores en un sistema de pensiones que satisfaga las necesidades financieras del ayuntamiento y otorgue prestaciones integradas a los trabajadores.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló por medio del enfoque cualitativo con un diseño transeccional dado que “el enfoque cualitativo utiliza técnicas para recolectar datos, como entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, investigaciones sobre problemáticas similares, e interacción e introspección con grupos o comunidades” [5]. Y el diseño transeccional tiene como propósito describir situaciones y variables para analizar su influencia e interrelación en un futuro dado. [5].

Como técnica de recolección de datos, se aplicó una entrevista exploratoria de preguntas abiertas con el propósito de indagar a cierto grado de profundidad. También como otro método de recolección se empleó el análisis documental que es un “instrumento o técnica de investigación cuya finalidad es obtener datos e información partir de documentos susceptibles de ser utilizado dentro de los propósitos de una investigación” [5].

## Recolección y análisis de los datos

La entrevista fue realizada al encargado de la hacienda pública del municipio de Tonila. Esta entrevista consistió en 16 preguntas abiertas que tuvieron como objetivo conocer el número de personal activo, las modalidades de seguridad social, el salario real que perciben los trabajadores, el proceso del retiro laboral por vejez, la cantidad de personas pensionadas, el monto mensual de las pensiones y las fuentes de financiamiento para el pago de estas.

Durante la entrevista se realizaron grabaciones en audio y video las cuales se transcribieron en su totalidad con el fin de examinar la información obtenida.

Para lograr un análisis preciso se reconocieron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, variables que integran la herramienta del FODA, y que permiten identificar y evaluar las condiciones reales de una organización. [6]

La información documental fue proporcionada por el encargado la hacienda pública donde nos hizo entrega de la cédula de determinación de cuotas del mes de mayo de 2019 de los trabajadores afiliados al IMSS, así como la plantilla de nómina quincenal de todos los trabajadores sindicalizados, de contrato y de confianza.

En el análisis documental se examinó el salario base de cotización de todos los empleados, la edad de cada uno para identificar cuántos de estos ya están próximos a cumplir el requisito de edad para el retiro por vejez y el año de incorporación al IMSS para conocer si están bajo el régimen de beneficio definido o contribución definida.

## RESULTADOS

### Entrevista

Actualmente se cuenta con una plantilla de 112 trabajadores activos y 20 trabajadores jubilados. De los 112 se tienen 27 empleados de confianza que es conformado por el cabildo municipal por lo cual no tienen derecho de recibir seguridad social; 74 trabajadores son sindicalizados y estos si perciben derechos de seguridad social y prestaciones propias del ayuntamiento y únicamente 11 personas fungen como personal de apoyo sin prestaciones sociales.

Con relación a los trabajadores sindicalizados el 21.74% son mujeres y el 78.26% son hombres y se todos encuentran inscritos bajo un esquema de modalidad 42. (Ver gráfico 2)

Elaboración propia	
<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Se tiene un convenio con el IMSS en la modalidad 42.</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo 74 trabajadores de los 112 activos están afiliados al IMSS.</li> <li>- La capacidad económica del ayuntamiento no es suficiente para cubrir a todos los trabajadores.</li> <li>-Se crea una nómina extra de los sueldos y salarios y se toman recursos del presupuesto del ayuntamiento.</li> <li>- Las participaciones federales son la mayor fuente de financiamiento para el pago de sueldos y salarios.</li> <li>- Se gastan entre 55,000 a 60,000 mil pesos mensuales para el pago de pensiones.</li> <li>- El 70% de los egresos del ayuntamiento son sueldos y salarios incluyendo pensiones.</li> <li>- No conocen los sistemas de pensiones para afiliar a sus trabajadores.</li> </ul>
<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El pago por incapacidades corre por parte del municipio y no el IMSS.</li> <li>-En los próximos 5 años, 4 trabajadores ya cumplen con los requisitos para su jubilación.</li> <li>-Existe el riesgo de algún accidente a algún trabajador que necesite el pago de una pensión.</li> <li>-Futura incosteabilidad del pago de nóminas en los rubros de prestación de servicio y de pensionados ya que inflará poco a poco las nóminas.</li> <li>-Cada vez es más personas jubiladas y las erogaciones cada vez serán más grandes.</li> </ul>	<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Integrarse a un sistema de pensiones a nivel estado.</li> <li>-Crear una estrategia para seguir solventando las pensiones.</li> <li>-Al integrar a un sistema de pensión por parte del IMSS el municipio podría complementar el pago con los ingresos municipales.</li> </ul>

Gráfico 2. Matriz FODA



Debido a la ausencia de un sistema de pensiones, se está creando una nómina extra para los pensionados con un gasto aproximado de \$ 55,000.00 a \$ 60,000.00 mensuales; donde el recurso para el pago de esta nómina es tomado del presupuesto de egresos del ayuntamiento en la cuenta de participaciones federales. Esta cuenta es conformada por los sueldos y salarios y forman parte del 70% del presupuesto de egresos. (Ver gráfico 2)

Se prevé que, en los próximos 5 años, 4 trabajadores ya cumplirán con los requisitos para su retiro sin considerar que puede existir algún accidente por incapacidad total o parcial que requiera una pensión. Este suceso puede generar problemas financieros en un futuro. (Ver gráfico 2).

Sin embargo, ante tales situaciones el ayuntamiento tiene oportunidades que puede aprovechar para solventar sus gastos; por ejemplo: integrarse al sistema de pensiones de Jalisco y cambiar su modalidad ante el IMSS.

**Del análisis documental**

Como resultado de un análisis cruzado entre el género, edad y el régimen adherido de los trabajadores se percató que el 21.18% son mujeres y el 78.82% son hombres. Además, un aspecto muy importante fue que se detectó que de las 74 personas con seguro social 29 de estas rondan entre los 50-59 años, esto quiere decir que si todos estos trabajadores ya cumplen con las semanas cotizadas según su régimen podrá decidir si retirarse o continuar laborando. Por lo tanto, se estima que dentro de los años 2020 a 2034 se genere un retiro laboral de 29 personas que corresponde al grupo de edad de 50-59 años.

A través de la tabla 1 se puede mostrar detalladamente la información mencionada (Ver tabla 1).

*Tabla 1. Análisis cruzado de género, edad y régimen*

	EDADES						REGIMEN	
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70+	BD	CD
HOMBRES	3	4	12	24	11	1	45	11
MUJERES	0	2	6	5	4	1	7	11
TOTAL	3	6	18	29	15	2	52	22

De los 17 trabajadores que son mayores de 60 años sólo 5 aparecen con estatus de jubilados, es decir que 12 personas mayores de 60 años se encuentran activas siendo un prospecto de retiro en los próximos 5 años. Tomando en cuenta a los actuales 20 jubilados, los 12 trabajadores mayores de 60 años y los 29 trabajadores de 50 -59 años, se calcula que para los próximos 15 años la plantilla de pensionados sea de 61 personas, o sea, tres veces a la cantidad actual.

En términos económicos, sí actualmente el pago de las pensiones es de aproximadamente \$60,000.00 mensuales por las 20 personas pensionadas, esto quiere

decir que en promedio se paga \$3,000.00 mensuales por persona. Siguiendo esta lógica por las estimadas 61 personas retiradas en los próximos 15 años se estaría ejerciendo un gasto mensual en pensiones por \$183,000.00, sin considerar el incremento anual salarial, las pensiones por invalidez, la disminución de los jubilados por muerte y los montos exactos de la pensión de los trabajadores.

Al realizar el análisis documental con la información del pago de nómina y la cédula de cuotas del seguro social se observó que el salario base en nómina de todos los trabajadores era distinto al salario diario registrado ante el IMSS. Por ejemplo: un trabajador X está registrado con un salario diario de \$107.32 pero su salario base de cotización en nómina es de \$236.96, dicho de otra manera, se está enterando al organismo fiscal el 45.29% del salario real. Así como este ejemplo se encuentran los 74 trabajadores cotizando con un salario de aproximadamente 50% menor al verdadero.

El acto de enterar a la autoridad fiscal una percepción menor del salario de los trabajadores es considerado por las empresas y sus obligados solidarios como una estrategia para reducir gastos, sin considerar que el dinero aportado es individualizado a la cuenta del trabajador y al final de su vida laboral se le devolverá en forma de renta vitalicia o pago definitivo según sea su régimen y el organismo o la empresa no tendrá la necesidad de desembolsar en un futuro sus recursos propios para el pago complementario de pensiones.

El IMSS además de la facultad recaudadora, tiene también la facultad fiscalizadora mediante la cual pueden realizar actividades de investigación y control (auditorías, revisiones, inspecciones, etc.) para constatar y revisar los datos presentados en la declaración del contribuyente y, en caso de existir diferencia entre lo declarado y pagado y lo que se debió declarar y pagar, la autoridad realiza una nueva determinación tributaria que abarca el pago de las contribuciones, multas, recargos, actualizaciones y gastos de ejecución. [8]

**CONCLUSIONES**

Como ya se comentó anteriormente el ayuntamiento tiene asegurados a los trabajadores ante la modalidad 42 que es un régimen voluntario a los trabajadores al servicio de la administración pública federal, entidades federativas y municipios que tiene una cobertura en: enfermedades y maternidad; riesgo de trabajo; invalidez y vida y retiro, cesantía en edad avanzada y vejez. (Ver tabla 2) [2]

Sin embargo debido a los problemas financieros de las pensiones subnacionales en México, cada entidad federativa crea su propia ley de sistema de pensiones y como apoyo complementario el Instituto Mexicano del Seguro Social crea una modalidad 38 que exime la obligación del pago y derecho del Seguro de Retiro,

Cesantía en edad avanzada y Vejez (SRCV) y Seguro de Invalidez y Vida (SIV).

**Tabla 2. Asegurados por modalidad y tipo de régimen tomado de la página web de IMSS**

Modalidad	Descripción	Seguro				Derecho a subsidio <sup>1</sup>
		SRT	SEM	SIV	SGPS	
<b>Régimen Obligatorio</b>						
10	Trabajadores permanentes y eventuales de la ciudad	x	x	x	x	SEM, SRT
13	Trabajadores permanentes y eventuales del campo	x	x	x	x	SEM, SRT
14	Trabajadores eventuales del campo cañero	x	x	x	x	SEM, SRT
17	Reversión de cuotas por subrogación de servicios	x	x	x	x	SEM, SRT
30	Productores de caña de azúcar	x	x	x	x	SEM, SRT
<b>Régimen Voluntario</b>						
32	Seguro facultativo <sup>2</sup>		x			No
33	Seguro de salud para la familia		x			No
34	Trabajadores domésticos <sup>3</sup>	x	x	x	x	No
35	Patrones personas físicas con trabajadores a su servicio	x	x	x	x	SRT
36	Trabajadores al servicio de gobiernos estatales, municipales y organismos descentralizados <sup>4</sup>	x	x	x	x	No
38	Trabajadores al servicio de las administraciones pública federal, entidades federativas y municipios <sup>5</sup>	x	x			No
40	Continuaciones voluntarias en el Régimen Obligatorio		x	x	x	No
42	Trabajadores al servicio de las administraciones pública federal, entidades federativas y municipios <sup>6</sup>	x	x	x	x	SRT
43	Incorporación voluntaria del campo al Régimen Obligatorio	x	x	x	x	No
44	Trabajadores independientes	x	x	x	x	No
<b>Total</b>						

SRT: Seguro de Riesgos de Trabajo, SEM: Seguro de Enfermedades y Maternidad, SIV: Seguro de Invalidez y Vida, SRCV: Seguro de Retiro, Cesantía en Edad Avanzada y Vejez y SGPS: Seguro de Guarderías y Prestaciones Sociales (SGPS).

Se buscó situaciones similares al pago de pensiones en distintos estados de la República y se dedujo que los municipios que no contaban con un sistema de pensiones hacían valer su derecho a integrarse al sistema de pensiones de su estado y reingresaban un alta patronal ante el IMSS con la modalidad 38 donde sólo cubren cuotas de enfermedad, maternidad y riesgo de trabajo. El estado de Jalisco cuenta con su propio sistema de pensiones que es administrado por el Instituto de Pensiones del Estado de Jalisco.

El 19 de noviembre de 2009 se publica la Ley del Instituto de Pensiones del Estado de Jalisco que expone en el artículo 1º:

La presente Ley es de aplicación general y obligatoria en el Estado de Jalisco... que tiene por objeto garantizar las prestaciones y los servicios de sus afiliados, pensionados y beneficiarios... Entendiéndose como afiliado a la persona física sujeta a una relación laboral con las dependencias y entidades del Estado de Jalisco y sus Municipios. [9]

El Instituto de Pensiones del Estado de Jalisco (IPEJAL) se crea como organismo público descentralizado que establece un régimen obligatorio donde podrán ser afiliados los servidores públicos de los municipios del Estado de Jalisco. La ley del IPEJAL responsabiliza a sus afiliados y las entidades patronales a cubrir una cuota o aportación obligatoria para salvaguardar los recursos de la institución y ofrecer los de derechos de pensiones por jubilación; por edad avanzada; por invalidez; y por viudez y orfandad. [9]

Los porcentajes de las aportaciones obligatorias tanto al afiliado y a la entidad patronal en 2017 serán definitivos durante la vida de la existencia de esta Ley. (Ver tabla 3)

Como ya se mencionó, los municipios que enfrentaron problemas financieros por no tener un sistema de pensiones se integraron al Instituto de Pensiones de su debido estado y cambiaron a una modalidad 38 del IMSS,

pero ¿cómo esta propuesta el ayudará al municipio de Tonila? Observemos lo siguiente.

**Tabla 3. Porcentaje de cuotas afiliado- patronal tomado de la Ley del Instituto de Pensiones del Estado de Jalisco.**

Año	Trabajador %	Entidad Pública Patronal			Total %
		Regular	Vivienda	Adicional	
		%	%	%	
2009	5.0%	5.0%	3.0%	0.0%	13.0%
2010	5.5%	5.5%	3.0%	0.5%	14.5%
2011	6.5%	6.5%	3.0%	1.0%	17.0%
2012	7.5%	7.5%	3.0%	1.5%	19.5%
2013	8.5%	8.5%	3.0%	2.0%	22.0%
2014	9.5%	9.5%	3.0%	2.5%	24.5%
2015	10.5%	10.5%	3.0%	3.0%	27.0%
2016	11.5%	11.5%	3.0%	3.5%	29.5%
2017	11.5%	11.5%	3.0%	6.0%	32.0%

Como recordaremos el municipio no tiene a sus trabajadores ante el IMSS con su salario real y como entidad recaudadora tiene la facultad de cobrar lo omitido con sus debidos accesorios fiscales. Si el IMSS realiza una auditoría al ayuntamiento descubrirá una evasión fiscal por lo real y lo declarado por la cantidad de \$434,1188.02. Dicha cantidad es calculada desde mayo 2014 pues la autoridad fiscal solo puede cobrar 5 años atrás. (Ver tabla 4)

**Tabla 4. Cálculo del crédito fiscal por evasión fiscal.**

Cálculo del crédito fiscal por evasión fiscal					
Año	Monto	Actualizaciones a may- 19	Recargos	Gastos de ejecución	Total
2014	800,786.87	177,111.67	642,675.21	32,411.48	1,652,985.23
2015	805,771.64	150,708.68	502,522.92	29,180.06	1,488,183.31
2016	802,112.28	125,918.31	365,318.84	25,866.99	1,319,216.42
2017	791,848.08	71,122.13	225,901.52	21,777.43	1,110,649.16
2018	805,998.84	34,513.50	109,905.47	19,008.36	969,426.17
2019	334,670.30	6,693.41	17,592.05	7,179.12	366,134.87
<b>TOTAL</b>	<b>\$4,341,188.02</b>	<b>\$ 566,067.68</b>	<b>\$1,863,916.02</b>	<b>\$ 135,423.43</b>	<b>\$6,906,595.16</b>

Se realizó un análisis sobre las presuntas cantidades omitida de cada mes desde 5 años atrás y se calculó el total del crédito fiscal por concepto de recargo, multas y actualizaciones donde se estimó que la cantidad actualizada a mayo de 2019 es de \$6,906,595.10. (Ver tabla 4)

Cuando el Instituto Mexicano del Seguro Social haga la dictaminación de la auditoría el ayuntamiento tendrá que registrar a sus trabajadores con su salario diario integrado que incluye sueldo base más prestaciones. Por lo que las cuotas mensuales obrero patronal ascenderán a \$151,008.64. (Ver tabla 5)

**Tabla 5. Cuotas mensuales determinadas a pagar al IMSS.**

CUOTAS MENSUALES DETERMINADAS A PAGAR	PATRONAL	OBrero	TOTAL
Seguro de maternidades y enfermedad	\$ 49,883.23	\$ 3,719.16	\$ 53,602.39
Gastos médicos a pensionados	\$ 9,765.00	\$ 3,487.50	\$ 13,252.50
Seguro de invalidez y vida	\$ 16,275.00	\$ 5,812.50	\$ 22,087.50
Riesgo de trabajo	\$ 4,650.00		\$ 4,650.00
Seguro de retiro, cesantía en edad avanzada y vejez (Bimestral)	\$ 94,245.00	\$20,587.50	\$ 114,832.50
<b>Aportación mensual</b>	<b>\$ 127,695.73</b>	<b>\$23,312.91</b>	<b>\$ 151,008.64</b>

Si el municipio de Tonila se afilia al IPEJAL sus cuotas obrero patronal serán de \$220,807.58 mensuales sin embargo el ayuntamiento solo tiene que pagar por cuenta propia \$141,454.86. La diferencia entre las cuotas mensuales del IPEJAL y del IMSS es de \$69,798.94 (Ver tabla 6)

Tabla 6. Estimación de cuota patronal mensual al IPEJAL.

ESTIMACIÓN DE CUOTA PATRONAL MENSUAL IPEJAL		
SUMA PATRONAL	TRABAJADOR	SUMA
\$ 141,454.86	\$ 79,352.73	\$ 220,807.58

A primera impresión podemos decir que afiliarse al IPEJAL es mala idea porque se pagará más, pero esto es erróneo.

Al continuar sin un sistema de pensiones se estima que en 15 años el ayuntamiento haya gastado la cantidad de \$38,745,000.00 por concepto de pensiones.

Ahora sabiendo que sin un sistema de pensiones pagará a lo largo de 15 años lo siguiente:

- Crédito fiscal.	\$6,906,595.16
- Cuotas IMSS.	\$27,181,555.12
- Pensiones.	\$38,745,000.00
TOTAL	\$72,833,150.27

Si distribuyéramos en 15 años el total pagado, se realizaría una erogación mensual de \$ 404, 628.61 que irá incrementando constantemente según el salario mínimo.

En cambio, al tener un sistema de pensiones se pagará mensualmente por los conceptos de IMSS en modalidad 38 y cuotas al IPEJAL la cantidad de \$279,059.97, por lo que podemos concluir que a largo plazo saldrá más factible solventar los gastos del municipio.

La integración del ayuntamiento de Tonila al Instituto de Pensiones del Estado de Jalisco tiene resultados económicos a largo plazo.

Si todo sigue constante y la administración municipal no realiza cambios de su actual manejo de pensiones puede surgir las consecuencias ya mencionadas, por ejemplo; el pago insostenible de pensiones en un plazo menor de 15 años y la posible ejecución de actos administrativos y cobranza de créditos fiscales (contribuciones presuntivas, multas, recargos, actualizaciones y gastos de ejecución) que el IMSS tiene derecho como organismo fiscal autónomo.

Esta situación no es única del municipio de Tonila pues es visible en demás las demás entidades federativas que se están quedando sin recurso ante su insostenibilidad por el pago de pensiones. Las leyes de pensiones que rigen los 32 estado de la República Mexicana no surgieron por casualidad, sino, atendieron las consecuencias futuras de la falta de liquidez en los municipios y de igual manera el Instituto Mexicano de Seguro

Social promueve a los gobiernos subnacionales a integrarse ante la modalidad 40.

Cuando los gobiernos opten por ejercer su derecho e integrarse a los sistemas de pensiones estatales deberán considerar al menos los siguientes aspectos: salarios bases de cotización, antigüedad, aportaciones de los trabajadores, pensión garantizada y modificaciones a los contratos colectivos de trabajo, de tal manera que se pueda dar viabilidad y sostenibilidad a las finanzas municipales.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] OCDE (2016) *Estudio de la OCDE sobre el sistema de pensiones: México*. [Versión electrónica] Solar, servicios editoriales, 30-38.

[2] Instituto Mexicano del Seguro Social (2019) *Glosario de términos de consulta dinámica* [Versión electrónica] Consultado el 22 de julio de 2019 de sitio web: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/informes/GlosarioCubo.pdf>

[3] Miranda M. y Figueras V. (2017) *Una mirada a los pasivos contingentes de las pensiones de vejez para los trabajadores del sector público en las entidades federativas en México*. [versión electrónica] Consultado el 03 de octubre de 2019 de sitio web [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792017000300125&script=sci\\_arttext#B15](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792017000300125&script=sci_arttext#B15)

[4] Rubial, P. (2015) *Sistema de pensiones subnacionales*. HR Ratings. Consultado el 03 de octubre de 2019 de sitio web [https://www.hrratings.com/pdf/00Pensiones%20Subnacionales%20\(Reporte%20Sectorial%202015\)%20Editado.pdf](https://www.hrratings.com/pdf/00Pensiones%20Subnacionales%20(Reporte%20Sectorial%202015)%20Editado.pdf)

[5] Sampieri, R. (2014) *Metodología de la investigación*. México, D.F. Mc Graw Hill.

[6] Muñoz, M. (2018) *Análisis foda del proceso de formación de una empresa* [versión electrónica] p. 20

[7] Ramírez C. (2017) *Reforma de las pensiones en México: avances, logros y retos*. El cotidiano [Versión electrónica] consultado el 04 de julio de 2019 de sitio web: <http://www.redalyc.org/pdf/325/32553151003.pdf>.

[8] Instituto Mexicano del Seguro Social (2019) *Prescripciones y Fuentes de Financiamiento de los Regímenes de Aseguramiento del IMSS*. México

[9] Congreso del Estado de Jalisco (2009) *Ley del Instituto de Pensiones del Estado De Jalisco*. Jalisco: México.



Calidad

y

Sistemas de  
Manufactura

---

Ingeniantes

# Plan de Mejora para incrementar la Satisfacción Laboral Caso de estudio Industria de la construcción Grupo Firme de México S.A. de C.V.

**RESUMEN:** Se presenta un plan de mejora, adecuado a las necesidades de la Constructora Grupo Firme de México para contribuir de manera eficaz a mejorar la satisfacción de sus colaboradores principalmente en el área operativa. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la metodología PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) de Deming en sus dos primeras etapas. Para la recopilación de datos se utilizaron diversas fuentes e instrumentos objetivos como encuestas de salida, de clima organizacional, así como estadísticas de bajas y altas, al igual que herramientas subjetivas como entrevistas semiestructuradas con jefes de área y colaboradores y observación directa. La formulación del plan de mejora se estructuró tomando como base la metodología de la mejora continua propuesta por [1]

El resultado de esta investigación es el diseño de un plan de mejora a partir de un diagnóstico empresarial en el que se proponen indicadores de medición de las acciones propuestas, así como estrategias continuas de aplicación, que de llevarse a cabo permitirán a la empresa trabajar constantemente en la mejora continua.

**PALABRAS CLAVE:** Plan de mejora, satisfacción laboral, clima organizacional, mejora continua.



## Colaboración

Isela Margarita Robles Arias; Alan Alexis Bañales Sánchez; Raquel Valdez Guerrero; Graciela Guadalupe Ríos Calderón, Tecnológico Nacional de México / Campus Instituto Tecnológico de La Paz

**ABSTRACT:** An improvement plan is presented, adapted to the needs of the Constructora Grupo Firme de México to contribute effectively to improve the satisfaction of its employees mainly in the operational area. For the development of this research, the PHVA methodology (Plan, Do, Verify and Act) of Deming was used in its first two stages. Various sources and objective instruments were used to collect data, such as exit surveys, organizational climate, as well as low and high statistics, as well as subjective tools such as semi-structured interviews with heads of area and collaborators and direct observation. The formulation of the improvement plan was structured based on the methodology of continuous improvement proposed by [1]

The result of this research is the design of an improvement plan based on a business diagnosis in which indicators of measurement of the proposed actions are proposed, as well as continuous implementation strategies, which if carried out will allow the company to work constantly in continuous improvement.

**KEYWORDS** Improvement plan, job satisfaction, organizational climate, continuous improvement:

## INTRODUCCIÓN

Los planes de mejora representan una alternativa de solución y mejora continua para las empresas. En los últimos años, la satisfacción del personal que labora en las empresas ha estado acaparando la mirada de diversos investigadores a lo largo de varios países, tanto en Latinoamérica como en Europa, puesto que poco a poco ha ganado terreno dentro de las mismas, ya que, en ellas, sus dirigentes cada vez son más conscientes de la relación existente entre la satisfacción laboral y la producción.

La satisfacción laboral ha sido definida como el resultado de varias actitudes que tiene un trabajador hacia su empleo, los factores concretos (como la compañía, el supervisor, compañeros de trabajo, salarios, ascensos, condiciones de trabajo, etc.) y la vida en general. [2] En el contexto actual y el mundo globalizado demandan un cambio de mentalidad en las organizaciones, [3] es por ello que las empresas deben trabajar mediante un proceso de mejora continua e implementar normas y políticas para lograr la máxima calidad de los servicios y/o productos que se ofrecen, este tipo de proceso debe planear, controlar y mejorar aquellos elementos que influyen en el logro de los resultados deseados.

Si el propósito de la empresa es progresar, lo ideal sería conocer a las personas que laboran dentro de ella, es decir, valorar el capital humano. Para ello es importante conocer si el grado de satisfacción laboral que experimenta el trabajador es bueno, regular o malo. Es importante el estudio de la satisfacción laboral de los trabajadores en dos líneas principales: la experiencia del empleado y el impacto que produce en la organización.

Esta investigación surge a partir de la necesidad de entender y evaluar los factores que entran en juego en la satisfacción laboral en la empresa Grupo Firme de México S.A. de C.V., a fin de generar un plan de mejora que pueda incrementar la satisfacción del personal. Esta empresa tiene sus orígenes en el año 2012. Es una empresa especializada en ingeniería y obra civil que domina áreas de planeación, coordinación, logística, ejecución y supervisión de proyectos del sector público y privado ha logrado tener una presencia importante en lo que respecta a obra pública en el estado de Baja California Sur, habiendo realizado obras a lo largo y ancho de la península.

El objetivo general de esta investigación fue diseñar un plan de mejora para incrementar la satisfacción laboral de los colaboradores de Grupo Firme de México S.A. de C.V.

La hipótesis planteada señala que con el diseño de un plan de mejora será posible detectar los principales problemas y generar la información necesaria que permita a la empresa, lograr incrementar la satisfacción laboral.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se compone de tres fases: Un diagnóstico para determinar la situación actual de la empresa. En la segunda fase se realiza el análisis de la información con el Diagrama de Ishikawa y la matriz FODA y se diseñan estrategias. Y en la tercera fase se presenta un plan de mejora integrado por un conjunto de acciones planificadas, que se han derivado de la identificación de necesidades.

Se realizó investigación documental para conocer la información histórica con la que contaba la empresa, misma que proporcionó datos valiosos sobre los índices de rotación de personal. Se solicitó al responsable del departamento de Recursos Humanos de la empresa. La información de altas y bajas en la empresa, se proporcionó el acceso a los expedientes en físico de los colaboradores activos e inactivos a partir del 2015 a diciembre de 2017 así como una base de datos en Excel, lo cual sentó las bases para poder determinar los índices de rotación anual, los cuales se determinaron mediante la fórmula que se muestra a continuación. Tomada de: [4]

$$IRP = \frac{\frac{A + D}{2} \times 100}{\frac{F1 + F2}{2}}$$

Donde:

A= Número de personas contratadas durante el período considerado.

D= Personas desvinculadas durante el mismo período.

F1= Número de trabajadores al comienzo del período considerado.

F2= Número de trabajadores al final del período.

IRP= Índice de Rotación de Personal

Obteniendo los datos que se presentan a continuación.

**Tabla 1 Estadísticas generales de Rotación de Personal**

GRUPO FIRME DE MEXICO S.A DE C.V.				
ESTADÍSTICAS GENERALES DE ROTACIÓN DE PERSONAL AREA ADMINISTRATIVA				
2017				
Número de trabajadores inicio 2017	14	ALTAS	8	IRP 2017 69.23
Número de trabajadores fin 2017	12	BAJAS	10	
2016				
Número de trabajadores inicio 2016	12	ALTAS	11	IRP 2016 88.46
Número de trabajadores fin 2016	14	BAJAS	12	
2015				
Número de trabajadores inicio 2015	7	ALTAS	11	IRP 2015 94.74
Número de trabajadores fin 2015	12	BAJAS	7	
IRP GRAL = 84.14				

## Investigación de campo

Adicional a la investigación documental se realizó investigación de campo que extrajo datos e información directamente de los involucrados a través del uso de herramientas tales como la observación, encuestas de clima organizacional, y entrevistas aplicadas tanto a colaboradores como dirigentes. Los instrumentos utilizados fueron:

### 1.-Observación

Diseño y aplicación del Instrumento: A fin de recopilar información sobre la satisfacción laboral en el propio entorno de la empresa se determinó realizar una observación directa atendiendo a las siguientes variables observables, condiciones de trabajo, trabajo en equipo, relaciones interpersonales, colaboración, liderazgo, desarrollo profesional y métodos de trabajo. Para la aplicación el investigador en este punto se situó en la empresa para observar las conductas, condiciones y actos que afectaran directa o indirectamente la satis-

facción del personal, apegándose a las teorías establecidas que marcan las pautas para determinar que variables influyen favorable o desfavorablemente, capturando lo observado en una bitácora de observación. Procesamiento y análisis de la información: La información recopilada mediante la observación se analizó haciendo inferencias respecto a las incidencias de acontecimientos que revelarían un patrón de acción o conducta que afectaría la satisfacción de personal, estructurando la información en un diagrama de causa-efecto o diagrama de Ishikawa [5], que nos muestra las posibles causas que generan insatisfacción laboral, tal como se muestra a continuación.

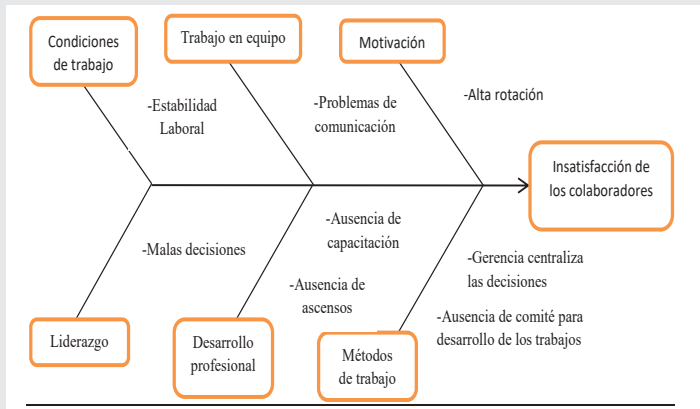


Figura 1 Diagrama causa-efecto Resultados de la investigación de campo. Elaboración propia.

Los análisis de los resultados de la entrevista con gerencia se presentan en el Diagrama de Ishikawa colocada en Anexos

**2. Entrevista a profundidad con personal activo y gerencia**

Al estar basada la investigación en el clima organizacional, la percepción de cada uno de los colaboradores activos permitiría, captar las apreciaciones acerca de la satisfacción en la empresa y los factores que la afectan de manera directa ya sea positiva o negativa.

Diseño, aplicación del instrumento y procesamiento de datos.

Se diseñó una guía semiestructurada abordando los puntos de interés para la investigación. La aplicación de las entrevistas a profundidad se realizó de manera directa y en privado con cada uno de los colaboradores de la empresa y con el gerente. se procesó la información mediante medios electrónicos.

El análisis de la información procedente de las entrevistas realizadas, fue realizado mediante el análisis del discurso, es decir, de lo expuesto en las entrevistas se extrajo la información que fuera útil a los objetivos de la investigación, centrado en la interpretación de los datos. Por tanto, el análisis de la información arrojada en este instrumento se basa en la formación del investiga-

dor y el uso de su labor intelectual para la interpretación, esta subjetividad es obligada, ya que al tratarse de emociones humanas no puede ser reducida a procedimientos matemáticos.

Tabla 2. Principales Incidencias: Entrevistas Semiestructuradas

Entrevistas personal activo		
TEMA	POSITIVAS	NEGATIVAS
Motivaciones e intereses.	Agradecimiento por la oportunidad laboral.	Sentimientos de estancamiento, ausencia de capacitación y ascensos laborales.
Condiciones de trabajo	Conformes con salarios, herramientas del lugar de trabajo.	Sentimientos de inseguridad por el temor de perder el trabajo en cualquier momento.
Puntos a favor y en contra de la empresa.	Relaciones de confianza entre gerente y colaboradores compartiendo conocimientos.	No valoran su trabajo, decisiones arbitrarias de gerencia contrapuestas a las del equipo de trabajo.
Clima organizacional	Excelentes relaciones de amistad entre compañeros.	Falta de comunicación sobre temas de relevancia para la operación de la empresa.
Entrevista a gerencia		
TEMA	POSITIVAS	NEGATIVAS
Visión de la empresa.	Empresa en crecimiento y con reconocimiento en el estado.	Fallas en la conclusión de las obras, incapacidad de formar equipo sólido. Fuga de talento humano.
Satisfacción de los colaboradores	Adecuada relación entre compañeros.	La contratación de personal apto que desarrollo los trabajos como la empresa lo dicta, diferencia de criterios.
Métodos de trabajo.	Especialización en la administración de obra.	Reconocimiento de desatención de colaboradores y conflictos internos entre ellos
Liderazgo y clima organizacional	Preocupación por tener relaciones de cordialidad y comunicación entre compañeros.	

**3.-Encuestas de Clima Organizacional (EDCO)**

A pesar de que se contaba con información histórica del 2015, se decidió aplicar de nuevo este instrumento para conocer el grado de satisfacción laboral que reinaba en tres momentos diferentes: el primero en febrero del 2015, el segundo en febrero del 2017, y el tercero en noviembre del mismo año.

Diseño, aplicación del Instrumento y procesamiento de la información: El diseño del instrumento tiene un apartado de datos generales del colaborador, instrucciones de llenado y está integrado por 45 ítems, considerando las siguientes categorías a evaluar: comunicación, colaboración, condiciones de trabajo, carrera profesional, liderazgo, satisfacción en el puesto de trabajo. Se aplicó de manera censal considerando todos los colaboradores. Utilizando medios electrónicos (google forms) el cual facilitó la aplicación entre los colaboradores y el procesamiento de la información apoyándose en el Excel elaborando tablas de frecuencias de cada ítem, como se muestra a continuación.

Tabla 3. Resultados EDCO jun. 2015 ,feb 2017 y Nov. 2017

GRUPO FIRME DE MEXICO S.A DE C.V.			
RESULTADOS GENERALES ENCUESTA DE CLIMA ORGANIZACIONAL (FEBRERO 2017) y (NOVIEMBRE 2017)			
RESUMEN POR AREA	Porcentaje Jun 2015	Porcentaje Feb. 2017	Porcentaje Nov. 2017
Colaboración	88.7%	88%	83%
Comunicación	81.5%	65%	71%
Condiciones de trabajo	86.7%	77%	80%
Carrera profesional	92.0%	68%	71%
Liderazgo	92.0%	67%	72%
Satisfacción en el puesto de trabajo	81.2%	73%	79%
<b>Resumen General</b>	<b>87.2%</b>	<b>71%</b>	<b>74%</b>

Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de la encuesta laboral permitieron acceder a la información sobre la satisfacción del personal tomando en consideración distintos ítems. En la primera encuesta aplicada en junio de 2015 a los colaboradores administrativos activos en ese momento, (diez colaboradores), revelaron el porcentaje de satisfacción general en ese momento era de 87.2%, que su punto más débil era la comunicación, satisfacción en el puesto, y que en la categoría de donde existía mayor satisfacción era en liderazgo y carrera profesional 92%.

Posteriormente las EDCO aplicadas en el 2017 nos indican que la satisfacción aumento del 71 al 74% donde las categorías más bajas son la comunicación, la carrera profesional y el liderazgo, mientras que la colaboración destaco más alto con un 83%.

#### 4. Encuesta de salida

Un dato importante para la investigación es el saber la percepción que tienen de la empresa los colaboradores que dejaron de trabajar en ella, al momento de romper la relación laboral.

Diseño y aplicación del instrumento. Se diseñó un instrumento denominado entrevista de salida, el cual consta de 8 preguntas con respectivas opciones de respuesta, así como un apartado donde los colaboradores podían agregar comentarios adicionales en caso de ser necesario (Las categorías a considerar fueron: datos referentes al liderazgo, razones de salida de la empresa, así como expectativas cumplidas o no por parte de la empresa. De igual manera las preguntas y respuestas están numeradas de forma que la información pudiese ser evaluada con el programa estadístico SPSS. Para su aplicación se realizó de manera digital con el programa (Google Forms), fue enviada a los 29 ex colaboradores de la empresa, posteriormente se les contacto vía telefónica obteniendo solamente respuesta de 12 de los ex colaboradores. Se procesó la información con el mismo programa y para el análisis se utilizó el programa SPSS, en el cual se capturaron 12 diferentes cruces de información.

1. Antigüedad en cada área administrativos. de 2 a 3 años 3 colaboradores, en construcción 4 menos de 1 año y 2 de 2 a 3 años, en oficina técnica de menos de un año 2 y de 4 en adelante
2. Motivo de terminación laboral  
El mayor porcentaje fue 42% por crecimiento personal y el 25% incomodidad con la empresa.
3. ¿Qué cambiarías o mejorarías en la empresa?  
El 50% señalaron los métodos de trabajo, 20% prestaciones laborales, y 18% cargas de trabajo.
4. ¿Estuviste cómodo en la empresa?  
Si 50%, No 25%, Algunas veces 25%.
5. ¿Recibiste capacitación y adiestramiento?  
Si 75%
6. ¿Qué cambiarías o mejorarías?  
Métodos de trabajo 50%, prestaciones laborales 20% y

- cargas de trabajo 18%.
7. ¿Volverías a trabajar en la empresa?  
Si 60%, No 40%
8. Las decisiones de los dirigentes son:  
desatinadas 60%
9. ¿Estuviste cómodo en el trabajo?  
Si 80%
10. ¿Recibiste reconocimiento por tu trabajo?  
Si 75% No 25%
11. ¿Ingresarías nuevamente a la empresa?  
Si 60%
12. ¿El trabajo cumplió tus expectativas?  
Si 60%

#### Análisis general de la información obtenida: Matriz FODA

Esta matriz se utilizó para analizar la información obtenida del ambiente interno (fortalezas y debilidades) y el ambiente externo se consideraron la información proporcionada por gerencia y colaboradores, así como la experiencia personal del investigador. (oportunidades y amenazas).

Tabla 4 Análisis FODA. Elaboración propia

FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
<b>ANÁLISIS INTERNO</b> 1.- Negocio próspero y creciente. 2.- Dispone de capital para ofrecer sueldos competitivos. 3.- Buenas relaciones entre colaboradores. 4.- Disposición de recursos y materiales óptimos para realizar el trabajo 5.- Estabilidad de personal en área administrativa 6.- Construcción de obra civil y edificación	1.- Alta rotación de personal en el área operativa 2.-Asignación de tareas extras al perfil del puesto contratado provocando cargas excesivas de trabajo. 3.- Deficiencias en la comunicación 4.- Inconformidad con la toma de decisiones del líder 5.- No existe desarrollo profesional 6.- Falta de reconocimientos expresos 7.- Métodos de trabajo (gerencia centraliza decisiones, ausencia de comité para desarrollo de los trabajos, decisiones arbitrarias contrapuestas entre gerencia y el equipo de trabajo) 8.- Falta de asignación de presupuesto para la capacitación, generando capacitación correctiva.
OPORTUNIDADES (O)	AMENAZAS (A)
1.- Relaciones estrechas con instituciones gubernamentales 2.- Única empresa en la ciudad que ofrece servicios de administración de obra 3.- Nuevas tecnologías de la información y comunicación 4.- Sede de la CMIC en la ciudad 5.- Existen en la ciudad algunas universidades formadoras de profesionales de construcción.	1.- Mercado abierto para la creación de nuevas empresas 2.- Empresas dentro del ramo con presencia importante en el estado 3.- Fallos de licitaciones inciertos, generando incertidumbre de asignación de obras

#### Análisis CAME.

El análisis CAME es la herramienta que permite definir el plan estratégico de su empresa, una vez que has creado tu matriz DAFO. Identifica qué factores puedes corregir, afrontar, mantener y explotar, para hacer que tu negocio se desarrolle en la dirección adecuada. quedando pendiente implantar las acciones y realizar un seguimiento de ellas para comprobar que se cumplen los objetivos

#### Resultados Introducción

La propuesta de plan de mejora que se presenta, es el resultado de la investigación realizada en la empresa Grupo Firme de México, misma que se desarrolló a través de la aplicación y evaluación de diversos instrumentos de recolección de datos tanto de corte cuantitativo como cualitativo. Se investigaron los factores que incidían de manera favorable o desfavorable en la satisfacción de los colaboradores.



Tabla 5. Análisis FODA y CAME. Elaboración propia

ANÁLISIS FODA	FORTALEZAS	DEBILIDADES
	1.- Negocio prospero y creciente 2.- Dispone de capital para ofrecer sueldos competitivos 3.- Relaciones internas entre colaboradores estrechas 4.- Disposición de recursos y materiales optimos para realizar el trabajo 5.- Estabilidad de personal en area administrativa 6.- Construcción de obra civil y edificación	1.- Alta rotación de personal en el area operativa 2.-Asignación de tareas extras al perfil del puesto contratado provocando cargas excesivas de trabajo. 3.- Deficiencias en la comunicación 4.- Inconformidad con la toma de decisiones del lider 5.- No existe desarrollo profesional 6.- Falta de reconocimientos expresos 7.- Metodos de trabajo 8.- Falta de asignacion de presupuesto para la capacitacion, generando capacitacion correctiva 9.- Obras por proyecto
OPORTUNIDADES (O)	Estrategias (FO)	Estrategias (DO)
1.- Relaciones estrechas con instituciones gubernamentales 2.- Unica empresa en la ciudad que ofrece servicios de administración de obra 3.- Nuevas tecnologías de la información y comunicación 4.- Sede de la CMIC en la ciudad 5.- Variedad de obras en las distintas dependencias 6.- Existen en la ciudad algunas universidades formadoras de profesionales de construcción.	Usar Fortalezas para aprovechar oportunidades 1.- Fortalecer las relaciones comerciales con las dependencias gubernamentales 2.- Ofrecer sueldos competitivos así como una forma diferente y eficiente de administrar las obras 3.- Mantener y reafirmar las buenas relaciones entre sus colaboradores y dirigentes utilizando las TICs 4.- Proporcionar las facilidades para que los colaboradores adquieran conocimientos necesarios para la ejecución y administración de obra en la CMIC 5.- Participar en la construcción de obra civil y edificación para distintas dependencias. 6.- mantener trabajo constante mediante la participación en las licitaciones de obra publica.	Minimizar debilidades aprovechando oportunidades 1.- Evitar la rotación de personal en el area operativa, mediante procesos administrativos unicos para la ejecución de obra. 2. Fortalecer la comunicación mediante el uso de las tic's 3.- Gestionar presupuesto para capacitacion y aprovechar variedad de cursos ofertados por la CMIC y otras instituciones. 4.- Permitir que los colaboradores del Area operativa se desarrollen profesionalmente participando en obras variadas. 5.- Evitar las cargas excesivas de trabajo aprovechando la oferta de egresados profesionales en construcción.
AMENAZAS (A)	Estrategias (FA)	Estrategias (DA)
1.- Mercado abierto para la creación de nuevas empresas 2.- Empresas dentro del ramo con presencia importante en el estado 3.- Fallos de licitaciones inciertos, generando incertidumbre de asignación de obras	Usar fortalezas para evitar o reducir el impacto de las amenazas 1.- Negocio prospero y creciente que permite tener una ventaja competitiva con empresas de nueva creación Fomentar las relaciones estrechas y de armonias entre los colaboradores 2.- Disposición de recursos y materiales optimos para realizar el trabajo, que aseguren la permanencia de los colaboradores. 3.- Marcar la diferencia y la ventaja competitiva que se tiene sobre las otras empresas del ramo , aumentando los fallos favorables en las licitaciones. 4.- Aprovechar la estabilidad economica de la empresa Incursionando en laejecución de obra privada.	Minimizar debilidades y evitar amenazas 1.- Lograr que siempre haya obras activas y en ejecución 2.- Lograr un liderazgo eficiente 3.- Ofrecer mejores condiciones de trabajo que en las empresas competencia

**Plan de mejora.**

**4.2 Objetivo**

Presentar las acciones necesarias para dar cumplimiento a las estrategias planteadas, a fin de que la empresa las aplique para incidir de manera favorable en la satisfacción de sus colaboradores.

**4.3 Misión**

Proyectar y materializar de manera óptima las necesidades de sus clientes a través de procesos y soluciones integrales que los distingan por la capacidad y valores de su equipo de trabajo.

**4.4 Visión**

Garantizar el éxito en cada proyecto y asegurar la satisfacción de sus clientes, con capacidad de dirigir proyectos a nivel nacional. El Plan de Mejora se presenta en anexo Tabla

**Conclusiones y Recomendaciones**

Se cumplió con el objetivo general ya que se presenta una propuesta de plan de mejora y en el caso de que la gerencia decida implementarlo se lograra el incremento de la satisfacción de los colaboradores de Grupo Firme de México S.A. de C.V. Para su diseño fue necesario realizar un diagnóstico integral de la situación, identificado áreas de oportunidad mediante la matriz FODA, se diseñaron estrategias cruzando las variables que integran el plan presentado.

Queda demostrado que el acercamiento con los colaboradores proporciona información de utilidad que debe ser tomada en cuenta en las empresas a fin de

establecer estrategias o políticas que favorezcan la satisfacción de sus colaboradores En este caso en particular las herramientas utilizadas revelaron que la mayor problemática en la empresa se presenta en las categorías relacionadas con: la seguridad o estabilidad laboral, la comunicación, y las oportunidades de crecimiento profesional dentro de la empresa. Lo fundamental es implementar las estrategias necesarias para que estas variables no sigan afectando la satisfacción de los colaboradores y trabajar constantemente en la mejora continua. La realización del plan de mejora presentado requiere el involucramiento de directivos y jefes de departamentos, así como de cada uno de los colaboradores, incrementando la participación y comunicación. Se recomienda aplicar de manera eficaz el plan de mejora que se plantea en esta investigación poniendo especial atención en los indicadores que en él se exponen, a fin de identificar si las estrategias están siendo efectivas, y de no serlo reestructurarlas de manera que sirvan al objetivo de mejorar la satisfacción de los colaboradores.

Participar de manera constante en una escucha activa hacia los colaboradores procurando entender sus necesidades, inquietudes e intereses, acción que permitirá generar empatía y amplié el panorama sobre la visión que los demás tienen acerca de la empresa, de su área y/o de los directivos.

Al comenzar con la aplicación de este plan de mejora debe estar en renovación constante, realizando dos encuestas anuales de clima organizacional con un desfase de 6 meses entre cada una, realizando encuestas de salida a todo colaborador que deje de pertenecer a la empresa, así como usar la información formal, que se plasmará en las bitácoras de reuniones, los grupos de comunicaciones y/o entrevistas, y la informal, pláticas espontaneas y redes sociales.

**BIBLIOGRAFÍA**

[1]Carro Paz, R. (s.f.). *Administracion de la Calidad Total. Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata.*

[2] Pisco, M. (1999, septiembre) *Satisfaccion Laboral y Productividad*, [ consultada 15 de octubre 2019, <https://es.scribd.com/document/187886648/Satisfaccion-Laboral-y-Productividad>]

[3]Esquivel, A.(2017) *Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. Retos de la Direccion, 56-72.*

[4] Castillo, J. (2006) *Administracion de Personal, un enfoque hacia la calidad; Bogota; ECOE EDICIONES*

[5]Roldan, J.M. (s/f) *Diagrama de Ishikawa, Espina de Pescado, Calidad. consultado en enero 2017 <https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/>*

### Anexo A Plan de mejora

PLAN DE MEJORA						
Importancia	Objetivos estratégicos	Acciones estratégicas	Plazo	Responsable	Recursos	Indicador
BAJA	1.- Fortalecer las relaciones comerciales con las dependencias gubernamentales	1.1 Realizar visitas constantes a las dependencias	Junio 2018 - Permanente	Relaciones Comerciales	Estimaciones, convenios, fianzas	% De visitas al mes
		1.2 Participar en las licitaciones que se concursan en c/u de ellas	Junio 2018 - Permanente	Oficina Técnica	Fuerza laboral, compranet, paquetes de licitación	Total de participación en licitaciones entre total de fallos favorables de licitaciones
		1.3 Aportar y ofrecer apoyo a las dependencias	Junio 2018 - Permanente	Responsable de Relaciones Comerciales y Coordinadora de Oficina Técnica	Mobiliario, equipo, fuerza laboral, flotilla vehicular	% De contribuciones a dependencias
MEDIA	2.- Ofrecer sueldos competitivos así como una forma diferente y eficiente de administrar las obras	2.1 Hacer análisis comparativo de los sueldos con la competencia	Junio a Octubre 2018	RRHH	Aplicar benchmarking	% De información obtenida
		2.2 Ajustar sueldos y prestaciones de acuerdo al entorno	Enero 2019	RRHH	Presupuesto, leyes y reglamentos, perfiles de puesto, evaluación de desempeño, capacitaciones	% De adecuación al entorno
		2.3 Capacitar a los colaboradores en los métodos de trabajo de la empresa	Enero 2019 - Continuo	RRHH/ Jefes departamentales	Presupuesto, material didáctico (mobiliario, equipo), instructor, diseño del programa	% De capacitaciones realizadas/ % personal capacitado
		2.4 Coaching	Enero 2019 - Continuo	Jefes departamentales	Controles bitácoras	% Resultados de operación
ALTA	3.- Mantener y reafirmar las buenas relaciones entre sus colaboradores y dirigentes utilizando las TICS	3.1 Crear grupos de comunicación rápida y eficaz mediante aplicaciones celulares	Junio 2018 - Permanente	RRHH	Celulares inteligentes, redes sociales	% Aumento de flujo de información
		3.2 Crear grupos de difusión de información relevante mediante redes sociales, revista informativa, boletín informativo mensual, reuniones de inicio de jornada, pizarrón de avisos	Junio 2018 - Permanente	RRHH y Medios Audiovisuales	Redes sociales, aparatos tecnológicos	% Publicaciones realizadas
		3.3 Crear planes de trabajo para seguimiento	Junio 2018 - Permanente	Jefes departamentales	Grupos de comunicación, aparatos tecnológicos	% Planes de trabajo efectuados
		3.4 Realizar reuniones periódicas	Junio 2018 - Permanente	Dirección General/Jefes departamentales	Mobiliario, equipo, medios audiovisuales	% Reunión realizadas en el mes % de asistencia
ALTA	4.- Proporcionar las facilidades para que los colaboradores adquieran conocimientos necesarios para la ejecución y administración de obra	4.1 Realizar un diagnóstico de necesidades de capacitación	Junio- Agosto 2018	RRHH	Diagnostico de necesidades de capacitación, Presupuesto, Formatos, perfiles de puesto	% Necesidades detectadas
		4.3 Investigar cursos ofertados en la región	Septiembre 2018	RRHH	Paginas web de instituciones, teléfono	% De cursos conseguidos
		4.4 Diseñar cursos no existentes en la región acordes a las necesidades de los colaboradores	Octubre- Noviembre 2018	RRHH/ Jefes departamentales	Equipo de computo, presupuesto, población	Cantidad de cursos diseñados
		4.2 Publicar los cursos en un lugar visible para los colaboradores	Diciembre 2018	RRHH	Grupos de comunicación, aparatos tecnológicos, mobiliario.	% De participación de los colaboradores
		4.3 Detectar y gestionar apoyo a colaboradores interesados	Diciembre 2018	RRHH/ Jefes departamentales	Presupuestos, perfiles de puesto	% Colaboradores capacitados externamente % capacitados internamente
		4.4 Crear e impartir programas de capacitación	Enero-Diciembre 2019	RRHH/ Instructores	Espacios	% Programados contra impartidos

Importancia	Objetivos estratégicos	Acciones estratégicas	Plazo	Responsable	Recursos	Indicador
ALTA	5.- Participar en la construcción de obra civil y edificación para distintas dependencias y/o incursionar en la obra privada.	5.1 Revisar diariamente el sistema COMPRANET e identificar licitaciones próximas a realizarse	Junio 2018 - Continuo	Jefe de oficina técnica	Tiempo, sistema compranet	% De licitaciones identificadas
		5.2 Participar en licitaciones de edificación, así como de obra civil	Junio 2018 - Continuo	Jefe de oficina técnica	Factor humano, programas, leyes, reglamentos, presupuestos, pu	Cantidad de licitaciones concursadas
		5.3 Incursionar en la obra privada	Enero 2019	Dirección general y relaciones comerciales	Flotilla de vehículos, fuerza laboral, medios audiovisuales	Numero de obras privadas construidas
MEDIA	6.- Evitar la rotación de personal en el área operativa, mediante procesos administrativos únicos para la ejecución de obra.	6.1 Diferenciar los modelos de trabajo de la empresa de los de la competencia	Junio 2018 - Continuo	Dirección General/ Jefes departamentales	Medios de comunicación, fuerza de trabajo	% Adherencia a modelos de la empresa
		6.2 Definir y establecer procesos de operación para la administración de obra (Manuales)	Junio- Diciembre 2018	Jefes departamentales	Medios de comunicación, formatos, diagramas de flujo	No. de procesos de trabajo estandarizados
		6.3 Difundir procesos	Diciembre 2018 / Enero 2019	RRHH	Medios Audiovisuales, TICS	% De colaboradores informados
		6.4 Ofrecer formación constante y coaching, seguimiento	Junio 2018 - Continuo	Jefes departamentales	Mobiliario y equipo, bitácoras de reuniones, grupos de comunicación	% De asesorías observaciones realizadas
ALTA	7.- Permitir que los colaboradores del Área operativa se desarrollen profesionalmente participando en obras variadas.	7.1 Participar en licitaciones de edificación, así como de obra civil	Junio 2018 - Permanente	Jefe de oficina técnica	Fuerza laboral, Compranet, paquetes de licitación	% De licitaciones de edificación en que se participa
		7.2 Realizar planes de trabajo que den la oportunidad a los colaboradores de participar en obras de distinta índole	Junio 2018 - Permanente	Jefes departamentales	Partidas presupuestales, precios unitarios	No. de planes de trabajo, % de rotación entre obras
		7.3 Involucrar a los colaboradores en el conocimiento de los estudios técnicos y financieros de las distintas obras	Junio 2018 - Permanente	Jefes departamentales	Precios unitarios, leyes y reglamentos, partidas presupuestales	No. de colaboradores involucrados
		7.4 Realizar reuniones mensuales con el personal de obra a fin de exponer ante todo el equipo de trabajo el desarrollo, complicaciones y soluciones aplicadas en cada una de las obras	Junio 2018 - Continuo	Dirección General	Grupos de comunicación, medios audiovisuales	% De reuniones realizadas en el año
		7.5 Llevar a cabo registros de las reuniones realizadas para posterior consulta de fácil acceso	Junio 2018 - Continuo	Dirección General	Bitácoras, grupos de comunicación y medios audiovisuales	No. de registros de reunión
BAJA	8.- Evitar las cargas excesivas de trabajo aprovechando la oferta de egresados profesionales en construcción.	8.1 Acudir a instituciones educativas para reclutar estudiantes interesados en realizar sus residencias y/o practicas profesionales	Noviembre 2018	RRHH	Perfiles de puesto	No. de estudiantes interesados
		8.2 Identificar áreas de la empresa de mayor demanda de fuerza laboral	Septiembre - Octubre 2018	RRHH	Manuales de operación	Atrasos de cada una de las áreas
		8.3 Distribuir a los interesados en las áreas pertinentes (asignando proyecto y responsable externo del programa)	Febrero 2018	RRHH	Manuales de operación, proyectos	% Eficiencia en cada área
		8.4 Instruir y destinar tareas para los nuevos ingresos, así como dar seguimiento	Febrero 2018	Jefes departamentales	Manuales de operación, proyectos	Reportes de avance del proyecto
		8.5 Presentar resultados, dar seguimiento	Julio 2019	Jefes departamentales	Manuales de operación, proyectos	% Problemas que se pudieron solucionar

PLAN DE MEJORA						
Importancia	Objetivos estratégicos	Acciones estratégicas	Plazo	Responsable	Recursos	Indicador
BAJA	9.- Negocio prospero y creciente que permite tener una ventaja competitiva con empresas de nueva creación	9.1 Establecer presencia significativa ante los profesionales de la construcción	Julio 2019	Relaciones Comerciales	Obras realizadas, licitaciones ganadas	% De participación en las obras del estado
		9.2 Exigir a los colaboradores la pertenencia activa en colegios de profesionales de su área	Noviembre 2019	Dirección General / Jefes departamentales	Certificados, presupuestos	No. de colaboradores activo en colegios de profesionales
		9.3 Inventario físico de flotilla y equipo de construcción	Marzo 2019	Jefe de administración y finanzas	Documentación de vehículos	No. de vehículos y equipos inventariados
		9.4 Programar mantenimiento preventivo para todo el equipo	Enero 2019	Jefe de administración y finanzas	Documentación de vehículos	No. de mantenimientos realizados
		9.5 Establecer pactos de colaboración para renta de equipo de construcción	Enero 2019	Jefe de administración y finanzas	Presupuestos	No. de pactos celebrados
		9.6 Invertir en infraestructura y equipo mediante presupuesto de adquisición	Julio 2019	Dirección General	Presupuestos	% De inversión en infraestructura y equipo
ALTA	10.- Lograr un liderazgo eficiente	10.1 Realizar reuniones y acercamientos con los colaboradores para escuchar sus inquietudes	Junio 2018	Dirección General	Grupos de comunicación	No. de reuniones realizadas
		10.2 Establecer un buzón de quejas y sugerencias anónimo	Junio 2018	RRHH	Materiales y equipo	No. de quejas y sugerencias depositadas de manera semanal
		10.3 Ajustar planes de trabajo y la toma de decisiones considerando las quejas y sugerencias	Julio 2018	Dirección General / Jefes departamentales	Bitácoras de reuniones, grupos de comunicación, planes de trabajo	% De ajustes a planes de trabajo



Multidisciplinario  
e  
ingenierías

---

---

Ingeniantes

# Controlador activo lineal de tres grados de libertad aplicado al vehículo en Matlab-Simulink-Scilab



## Colaboración

Sergio Sandoval Pérez; Sergio Cuevas García; Luis Alfonso García Mendoza, Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán; Christian Quiroz Hernández, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Tamazula; Hugo Antonio Méndez Guzmán, Universidad Politécnica del Bicentenario

**RESUMEN:** Un problema clásico en la teoría de control es el diseño de una ley de retroalimentación, teniendo el propósito de que la salida de cualquier sistema siga asintóticamente una señal de referencia. En este trabajo, se pretende que la velocidad lateral siga a una maniobra del conductor o sensor de volante, que es una delta, pero en sentido contrario. Se propone que el vehículo se encuentra realizando una prueba de manejo conocida por la norma internacional DTA-ISO 7401, por ende, el problema de la teoría de regulación lineal vía retroalimentación de estados por medio de una función de Lyapunov es la solución idónea al problema ya que se supone la medición de la velocidad angular de viraje. Los actuadores que se integrarán en este artículo serán los frenos ( $M_z$ ) y el sistema frontal activo (AFS, por sus siglas en inglés). En esta investigación se realiza la formalización matemática de esta teoría y se observa por medio de la simulación del software Matlab-Simulink y Scilab, a la velocidad lateral y velocidad angular de viraje aplicadas a un controlador de estabilidad en el automóvil.

**PALABRAS CLAVE:** Retroalimentación de estados, velocidad lateral, velocidad angular de viraje, Lyapunov, Scilab, Matlab-Simulink

**ABSTRACT:** A classic problem in control theory is the design of a feedback law, with the purpose that the output of any system asymptotically follows a reference signal. In this work, the lateral velocity is intended to follow a driver maneuver or steering wheel sensor that is a delta but in the opposite direction. It proposed that the vehicle is performing a driving test known by the international standard DTA-ISO 7401, therefore the problem of linear regulation theory via states feedback through a function of Lyapunov is the ideal solution to the problem since the measurement of the angular turning velocity. The actuators that it will integrate in this article will be the brakes ( $M_z$ ) and the active frontal system (AFS). In this investigation, it performed the mathematical formalization of this theory and itself observed through of the simulation of the Matlab-Simulink and Scilab software, at the lateral speed and angular speed of rotation applied to a stability controller in the automobile.

**KEYWORDS:** States feedback, lateral velocity, angular turning velocity, Lyapunov, Scilab, Matlab-Simulink.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desarrollo de una filosofía integral ha cambiado en como los ingenieros realizan investigación en el área de diseño de nuevos dispositivos para el control del automóvil. Hoy en día se cuenta con una gran potencia computacional que nos permite trabajar con unidades de control en los vehículos, esto es debido al mejoramiento de dispositivos electrónicos y al avance en la tecnología, que permite desarrollar nuevos sistemas de control que evitan cualquier restricción desde el punto de vista tecnológico.

Considerando algunas variables físicas del automóvil, el diseño de un sistema de control para la velocidad lateral es uno de los principales tópicos de investigación en el área de control de automóviles. Estos dispositivos modifican las dinámicas de los vehículos imponiendo fuerzas o momentos en el cuerpo del automóvil de diferentes maneras, [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] y puede también utilizar "sensores inteligentes" que permiten mediciones precisas de las variables que se desean medir haciendo una alta eficiencia en la acción que el controlador este realizando, contribuyendo a la estabilidad del vehículo, la seguridad y confort para el conductor. El movimiento de un vehículo puede ser categorizado en términos de su funcionalidad, así como de su maniobrabilidad y estabilidad. El funcionamiento está enfocado sobre el peso y los movimientos longitudinales del chasis. La estabilidad y las características de manejo generalmente se refieren a la respuesta lateral/maniobrabilidad de las acciones de conducción del automóvil que se requieran. Una gran variedad de modelos de baja, media y alto orden están disponibles para describir el movimiento traslacional y rotacional del automóvil. Un modelo del vehículo de bajo orden de un grado de libertad (DOF por sus siglas en inglés) es donde el automóvil se considera una masa puntual y con ello es suficiente para generar una plataforma de velocidad. Un modelo de dos grados de libertad es considerado de medio orden por su análisis tomando en cuenta que las llantas frontales y traseras del vehículo son consideradas como una sola llanta delantera y una trasera (modelo de la bicicleta); en este modelo en la llanta delantera se puede introducir la dinámica del conductor o del volante, que al tener un sensor de giro se puede convertir a un sistema con autonomía. Además, los efectos del ángulo roll y de transferencia de masa son despreciados, por tener esta propuesta una suspensión pasiva y este modelo permite estudiar la respuesta lateral/dirección del vehículo para pequeños ángulos de maniobrabilidad en velocidades longitudinales constantes, donde estos parámetros deben de ser medidos para la realización completa a futura de algunos diseños. Esta medición de parámetros físicos se puede realizar mediante la utilización de un software como el Matlab- Simulink o Scilab, conocido por diseñadores, investigadores y estudiantes de diferentes ramos de la ingeniería, obteniendo con esto grandes aplicaciones a niveles de investigación tanto en educación como en la industria. Además, se puede implementar en Matlab-Simulink y Scilab, algoritmos de control autónomos o con giro de volante del conductor orientados al automóvil para simularlos y observar si son correctos ahorrándonos tiempo, además de asegurar que las dos plataformas ofrecen resultados similares, pero que el software Matlab-Simulink tiene un costo y el Scilab es software libre.

Por lo tanto, solamente queda establecer como se divide este artículo de investigación para su estudio. Todo lo anterior fue la introducción, enseguida en la parte de

material y métodos, se muestra el modelo matemático de dos grados de libertad del automóvil a utilizar con sus dinámicas de velocidad lateral y velocidad angular de viraje o yaw, en la subsección estructura de control, se realiza el diseño del control activo para la dirección asistida del vehículo, en la sección de resultados, se muestran los resultados de las simulaciones en el software Matlab-Simulink contra Scilab del modelo matemático del automóvil al someterlo a la maniobra escalón y observar el comportamiento de las dinámicas mencionadas anteriormente, las conclusiones, bibliografía y agradecimientos se establecen al final del artículo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El modelo matemático del vehículo puede ser en general un cuerpo rígido moviéndose en un espacio libre, de dos grados de libertad, conectado con la superficie terrestre a través de las llantas, el cual otorga un modelo de comportamiento lineal autónomo (en una sección acotada) o direccionado por el conductor.

Por lo tanto, tomando en cuenta la Figura 1, y las dinámicas lineales del vehículo que se generan en el llamado modelo de la bicicleta [9], [10];

$$m(\dot{v}_x - v_y \omega_z) = m a_x \quad \text{Ec. (1)}$$

$$m(\dot{v}_y + v_x \omega_z) = \mu[F_{f,y}(\delta_c + \delta_d, x, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r)] \quad \text{Ec. (2)}$$

$$J\dot{\omega}_z = \mu[l_f F_{f,y}(\delta_c + \delta_d, x, \alpha_f) - l_r F_{r,y}(x, \alpha_r) + M_z] \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde;  $m$ , masa del vehículo [kg],  $J$ , momento de inercia del vehículo [kg  $m^2$ ],  $l_f$ ,  $l_r$ , longitud desde el centro del vehículo hacia la llanta frontal y trasera [m],  $v_x$ , velocidad longitudinal del vehículo [m/s],  $v_y$ , velocidad lateral del vehículo [m/s],  $x=[v_y, v_x]$ , vector compacto del estado del vehículo,  $\alpha_f$ ,  $\alpha_r$ , ángulos de deslizamiento lateral frontal y trasero [rad],  $\delta_c$ ,  $\delta_d$ , componente del ángulo de la llanta impuesto por el controlador autónomo y conductor o sensor de volante respectivamente [rad],  $M_z$ , Momento de viraje resultado de los frenos activos [N  $m$ ],  $\mu$ , coeficiente de fricción entre el suelo y el neumático. Las fuerzas laterales  $F_{f,y}$ ,  $F_{r,y}$  son funciones del ángulo impuesto a las llantas frontales,  $\delta = \delta_d + \delta_c$ , y los ángulos de deslizamiento lateral de las llantas definidos de la siguiente manera;

$$\alpha_f = \delta_c + \alpha_{f,o} = \delta_c + \delta_d - \frac{v_y + l_f \omega_z}{v_x} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\alpha_r = -\frac{v_y - l_r \omega_z}{v_x} \quad \text{Ec. (5)}$$

## Estructura del control

Reescribiendo las ecuaciones (2) y (3) de la planta en forma de espacio de estados se obtiene;

$$\dot{v}_y = -v_x \omega_z + \frac{\mu}{m}(F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r)) \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\dot{\omega}_z = \left(\frac{\mu}{J}\right) (l_f F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) - l_r F_{r,y}(x, \alpha_r)) + \left(\frac{\mu}{J}\right) M_z \quad \text{Ec. (7)}$$

La aceleración lateral  $a_y$  puede ser expresada usando la segunda ley de Newton en términos de las fuerzas laterales del neumático.

$$a_y = \frac{\mu}{m} (F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r)) \quad \text{Ec. (8)}$$

La fuerza lateral puede ser definida utilizando la conocida fórmula mágica de Pacejka, para sistemas lineales [9];

$$F_{j,y} = D_{j,y} \cdot C_{j,y} \cdot B_{j,y} \cdot \alpha_j \quad \text{Ec. (9)}$$

Con  $j=f,r$ . Las constantes  $B_{j,y}$ ,  $C_{j,y}$ ,  $D_{j,y}$  en (2) y (3) son determinadas de manera experimental (ver Tabla 1).

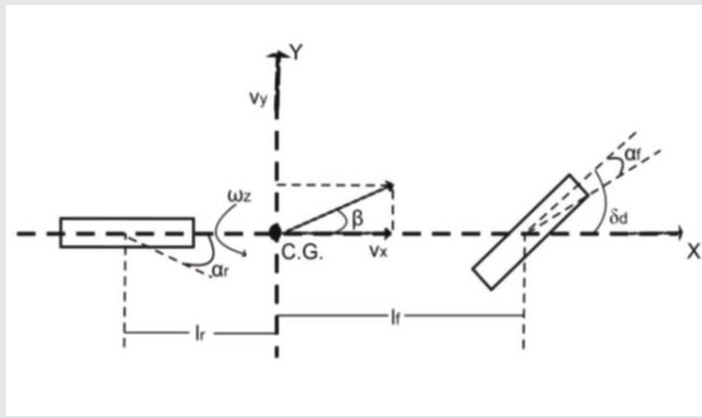


Figura 1. Modelo lineal del vehículo (modelo de la bicicleta).

En este artículo se considerará a la aceleración longitudinal  $a_x$  cero, porque se tienen fuerzas longitudinales nulas o con valores despreciables. Además las fuerzas laterales frontales y traseras de las llantas se pueden analizar de esta otra forma considerando los coeficientes;  $C_f = D_{f,y} \cdot C_{f,y} \cdot B_{f,y}$  y  $C_r = D_{r,y} \cdot C_{r,y} \cdot B_{r,y}$ , para obtener:  $F_{f,y} = C_f \alpha_{f,y}$   $F_{r,y} = C_r \alpha_{r,y}$ . El objetivo principal del control es que la salida del sistema  $x = [v_y, \omega_z]$  siga asintóticamente un sistema de referencia  $x_{ref} = [v_{y,ref}, \omega_{z,ref}]$ , el cual tiene como principal característica que sus derivadas son acotadas. De manera más precisa, el generador de referencia es

$$\dot{v}_{y,ref} = -\omega_{z,ref} v_x + \frac{\mu_{ref}}{m} (F_{f,y,ref}(\delta_d, x_{ref}, \alpha_{f,ref}) + F_{r,y,ref}(x_{ref}, \alpha_{f,ref})) \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\dot{\omega}_{z,ref} = \left(\frac{\mu_{ref}}{J_{ref}}\right) (l_f F_{f,y,ref} - l_r F_{r,y,ref}) \quad \text{Ec. (11)}$$

$J_{ref} = J$ ,  $\mu_{ref} = \mu = 0.9$ , son parámetros apropiados y  $F_{f,y,ref}$ ,  $F_{r,y,ref}$  que son curvas ideales dependiendo de

$$\alpha_{f,ref} = \delta_d - \frac{v_{y,ref} + l_f \omega_{z,ref}}{v_x} \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\alpha_{r,ref} = -\frac{v_{y,ref} - l_r \omega_{z,ref}}{v_x} \quad \text{Ec. (13)}$$

En este subtema, se diseñará el control de linealización por retroalimentación de estados el cual impondrá el comportamiento para las dinámicas de las velocidades lateral y de viraje; esto se realizará imponiendo la señal de referencia (10), (11) a través de la implementación de las entradas de control  $\delta_c$  y  $M_z$ . Considerando las ecuaciones en (6) y (7), el sistema de la planta con sus fuerzas laterales frontales y traseras se pueden analizar de esta forma;

$$\dot{v}_y = \left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{m v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{m v_x} - v_x\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_f}{m} \quad 0\right) \begin{pmatrix} \delta \\ M_z \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\dot{\omega}_z = \left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{J v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f^2 - \mu C_r l_r^2}{J v_x}\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J} \quad \frac{1}{J}\right) \begin{pmatrix} \delta \\ M_z \end{pmatrix} \quad \text{Ec. (15)}$$

Para las ecuaciones (10) y (11), se toma en cuenta a las fuerzas laterales frontales y traseras, con los siguientes coeficientes;  $C_{f,y,ref} = D_{f,y,ref} \cdot C_{f,y,ref} \cdot B_{f,y,ref}$   $C_{r,y,ref} = D_{r,y,ref} \cdot C_{r,y,ref} \cdot B_{r,y,ref}$ , para obtener:  $F_{f,y,ref} = C_{f,y,ref} \cdot \alpha_{f,y,ref}$  y  $F_{r,y,ref} = C_{r,y,ref} \cdot \alpha_{r,y,ref}$ . Donde;  $C_{f,y,ref} \neq C_f$  y  $C_{r,y,ref} \neq C_r$ . (ver Tabla 1).

Por lo tanto se obtiene el siguiente sistema de referencia;

$$\begin{pmatrix} \dot{v}_{y,ref} \\ \dot{\omega}_{z,ref} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-\mu_{ref}(C_{f,y,ref} + C_{r,y,ref})}{m v_x} & \frac{-\mu_{ref}(C_{f,y,ref} l_f - C_{r,y,ref} l_r)}{m v_x} - v_x \\ \frac{-\mu_{ref}(C_{f,y,ref} l_f - C_{r,y,ref} l_r)}{J_{ref} v_x} & \frac{-\mu_{ref}(C_{f,y,ref} l_f^2 + C_{r,y,ref} l_r^2)}{J_{ref} v_x} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{y,ref} \\ \omega_{z,ref} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\mu_{ref} C_{f,y,ref}}{m} \\ \frac{\mu_{ref} C_{f,y,ref} l_f}{J_{ref}} \end{pmatrix} \delta_d \quad \text{Ec. (16)}$$

Considerando los errores para la velocidad lateral y angular de viraje de esta manera;

$$e_{v_y} = v_y - v_{y,ref} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$e_{\omega_z} = \omega_z - \omega_{z,ref} \quad \text{Ec. (18)}$$

y los errores dinámicos se establecen mediante;

$$\dot{e}_{v_y} = \dot{v}_y - \dot{v}_{y,ref} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$\dot{e}_{\omega_z} = \dot{\omega}_z - \dot{\omega}_{z,ref} \quad \text{Ec. (20)}$$

Lo siguiente son los requerimientos para la ley de control estableciendo una función candidata de Lyapunov, basados en trabajos previos (Bianchi et al. 2010);

$$V = \frac{1}{2} e_{v_y}^2 + \frac{1}{2} e_{\omega_z}^2 \quad \text{Ec. (21)}$$

Considerando a la ecuación (21) positiva para mostrar que es continuamente decreciente a lo largo de cualquier trayectoria y su derivada negativa asegurando que el sistema tenga estabilidad asintótica:

$$\dot{V} = e_{v_y} \left[ \left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{m v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{m v_x} - v_x\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_f}{m}\right) \delta_c - \dot{v}_{y,ref} \right] + e_{\omega_z} \left[ \left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{J v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f^2 - \mu C_r l_r^2}{J v_x}\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J}\right) \delta_c + \left(\frac{1}{J}\right) \dot{M}_z - \dot{\omega}_{z,ref} \right] \quad \text{Ec. (22)}$$

Además, los siguientes términos de la ecuación (22) son propuestos menores a cero para la derivada de la función candidata de Lyapunov;

$$\left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{mv_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_{f_l} + \mu C_{r_l}}{mv_x} - v_x\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_f}{m}\right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_r}{m}\right) \delta_c - \dot{v}_{y,ref} < 0 \quad \text{Ec. (23)}$$

$$\left(\frac{-\mu C_{f_l} + \mu C_{r_l}}{Jv_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_{f_l}^2 - \mu C_{r_l}^2}{Jv_x}\right) \omega_z + \left(\frac{\mu C_{f_l}}{J}\right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_{r_l}}{J}\right) \delta_c + \frac{M_z}{J} - \dot{\omega}_{z,ref} < 0 \quad \text{Ec. (24)}$$

Por lo tanto, con las ecuaciones (23) y (24), se obtienen la  $\delta_c$  y  $M_z$ , mediante las cuales se diseña una ley de control por la teoría de retroalimentación de estados y se proponen como entradas dinámicas de control autónomas, determinadas a continuación;

$$\delta_c = \left(\frac{1}{v_x} + \frac{C_r}{C_f v_x}\right) v_y + \left(\frac{l_f}{v_x} - \frac{C_r l_r}{C_f v_x} + \frac{m v_x}{\mu C_f}\right) \omega_z - \delta_d + \left(\frac{m}{\mu C_f}\right) \dot{v}_{y,ref} - k_1 e_{vy} \quad \text{Ec. (25)}$$

$$M_z = \left(\frac{\mu C_{f_l} - \mu C_{r_l}}{v_x}\right) v_y + \left(\frac{\mu C_{f_l}^2 - \mu C_{r_l}^2}{v_x}\right) \omega_z - (\mu C_{f_l}) \delta_d - (\mu C_{r_l}) \delta_c + J \dot{\omega}_{z,ref} - k_2 e_{\omega z} \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde  $k_i > 0, i = 1, 2$ , y las entradas de control en ecuaciones (25) y (26) serán impuestas en (22), comprobándose la estabilidad del sistema;

$$\dot{V} = -k_1 e_{vy}^2 - k_2 e_{\omega z}^2 \quad \text{Ec. (27)}$$

Por último, se puede reescribir para la derivada de la función de Lyapunov en (27), de la siguiente manera;

$$\dot{V} \leq -\lambda \min_k \|e\|^2 \quad \text{Ec. (28)}$$

Estableciendo una  $\lambda_{\min} > 0$ , la cual representa una ganancia mínima igual para  $k_1, k_2$  y considerando,  $e = (e_{vy}, e_{\omega z})$

Por último en esta sección de la estructura de control, se muestra en la Figura 2, el diagrama a bloques del controlador activo de dos grados de libertad en Matlab-Simulink, donde se establecen por medio de funciones embebidas los algoritmos de la planta del automóvil en la Figura 2a y el controlador activo para la dirección asistida con el controlador propuesto en la Figura 2b. En la Figura 3 en el software Scilab se establece la misma planta del vehículo para la Figura 3a y el control activo para la Figura 3b, pero se puede observar que los resultados para las diferentes entradas de control ( $\delta_c$ ), de conductor ó autonomía ( $\delta_d$ ) y las señales de las variables de la velocidad lateral  $v_y$ , y velocidad angular  $\omega_z$ , son muy similares tanto en Matlab-Simulink como en Scilab. Por lo tanto se establece en los siguientes resultados que el software Scilab por ser un software libre que no tiene costo, se puede implementar, cuando no se tengan los recursos económicos para una licencia de Matlab, además de ser de fácil acceso en internet o por cualquier otro medio por ejemplo desde la grabación en una memoria USB.

## RESULTADOS

### Maniobra en un escalón

En esta sección, el comportamiento del modelo matemático del automóvil se simula bajo una maniobra en una dirección DTA-ISO 7401, como se puede ver en la Figura 4.

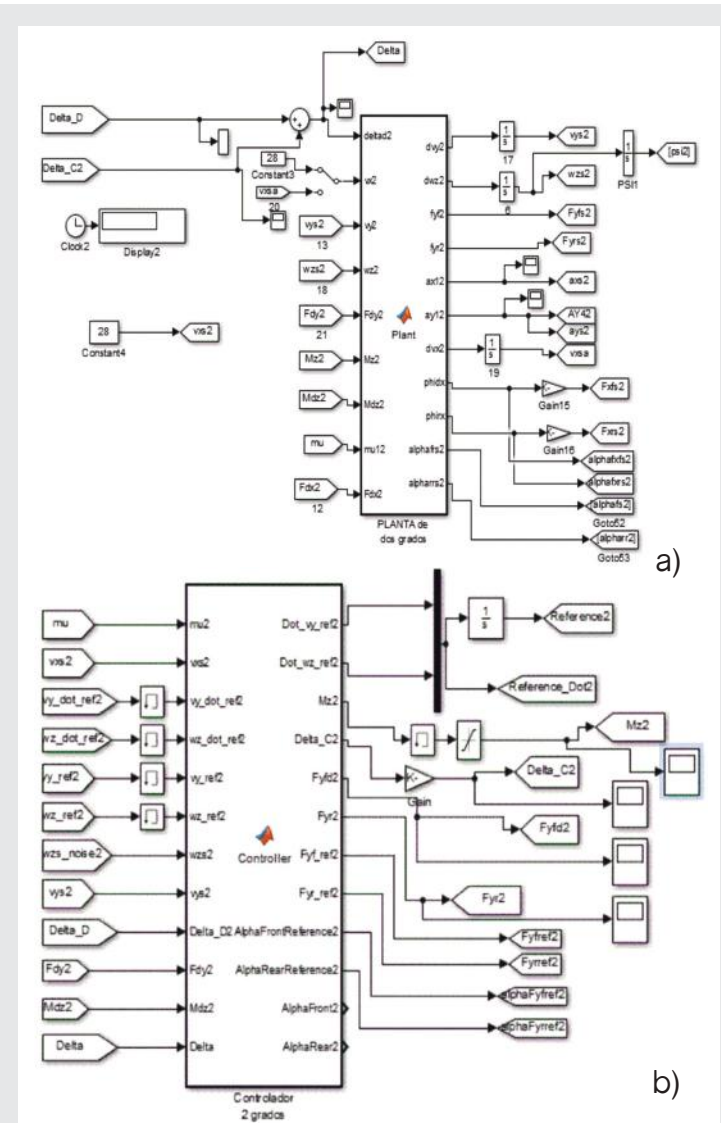
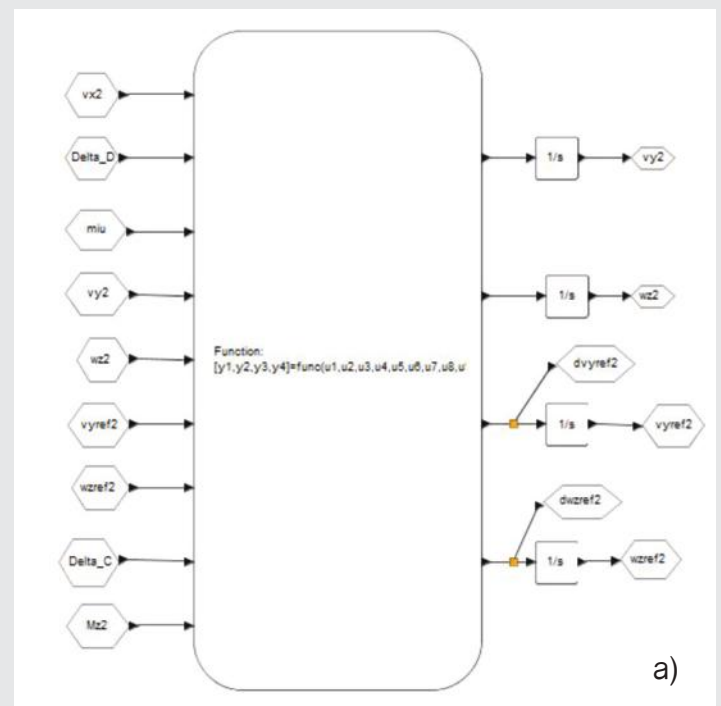


Figura 2. a) Planta; b) Control en Matlab-Simulink



a)



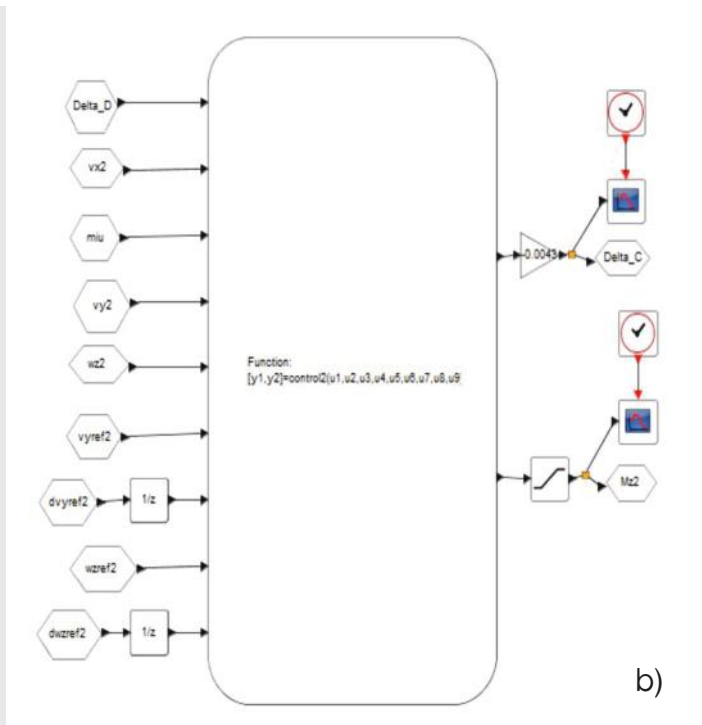


Figura 3. a) Planta; b) Control en Scilab.

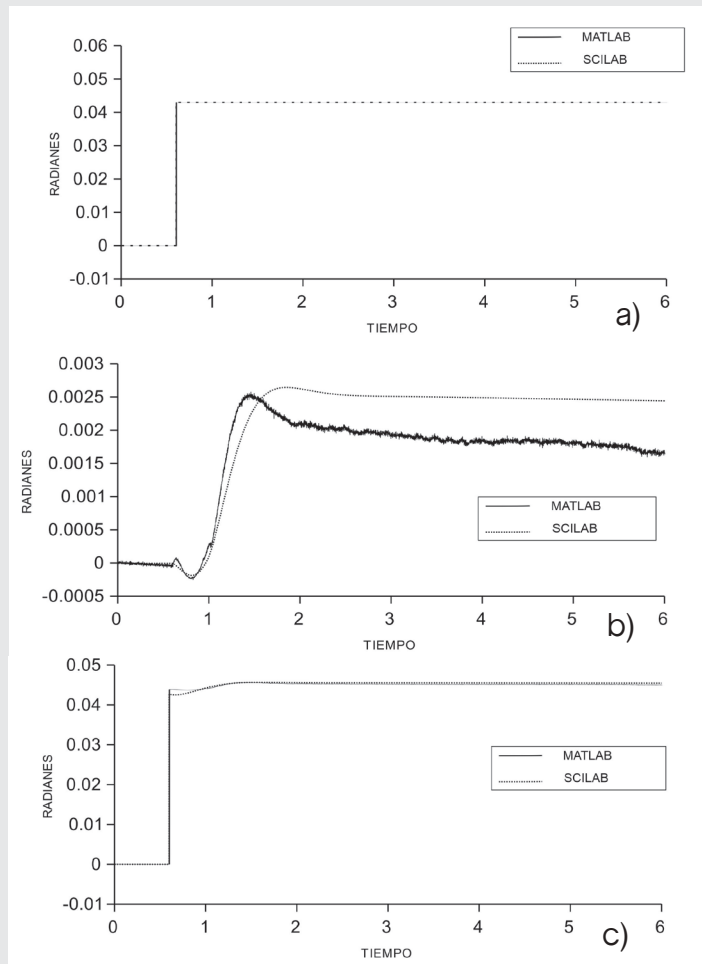


Figura 4. a) Señal  $\delta_d$  delta del conductor o sensor del volante [rad/s vs s]; b) Señal  $\delta_c$  delta del controlador autónomo [rad/s vs s]; c) Señal  $\delta = \delta_d + \delta_c$  aplicada a las ruedas del automóvil [rad/s vs s].

Para la Figura 5, se muestra la velocidad lateral del sistema de referencia ( $v_{y,ref}$ ) y la salida de la velocidad lateral del sistema real controlado ( $v_y$ ) en Matlab-Simulink versus Scilab.

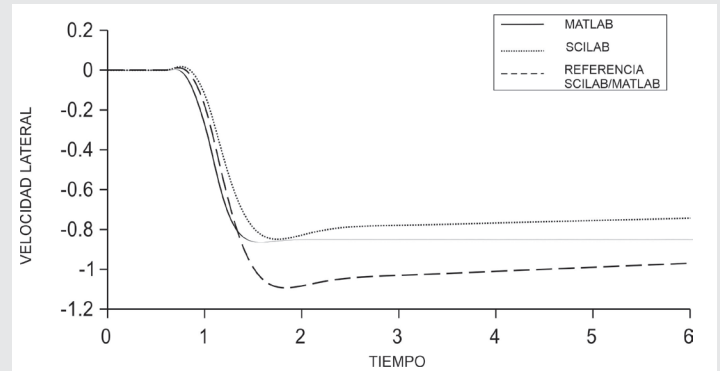


Figura 5. Velocidad lateral  $v_y$  (sólida) de Matlab-Simulink,  $v_{y,ref}$  (interlinea), velocidad lateral  $v_y$  (interlinea suave) de Scilab [m/s vs s].

Para la Figura 6, se muestra la velocidad angular de viraje del sistema de referencia ( $\omega_{z,ref}$ ) y la salida de la velocidad angular de viraje del sistema real controlado ( $\omega_z$ ) en Matlab-Simulink versus Scilab.

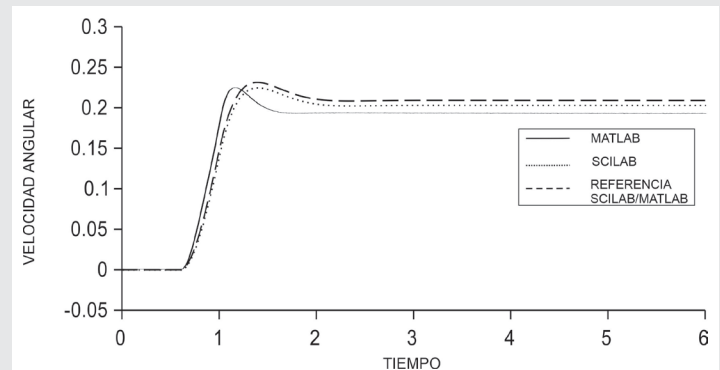


Figura 6. Velocidad angular de viraje  $\omega_z$  (sólida) de Matlab-Simulink y  $\omega_{z,ref}$  (interlinea), velocidad angular de viraje  $\omega_z$  (interlinea suave) de Scilab [rad/s vs s].

En la Tabla 1 se muestran los parámetros con los cuales se realizan las simulaciones.

Tabla 1. Parámetros reales usados en la simulación del vehículo.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$m$	1550 Kg	$B_{f,yref}$	6.2
$l_r$	1.53 m	$D_{f,y}$	7240N
$l_f$	1.38 m	$D_{f,yref}$	$10^4 N$
$J$	3552 Kg	$C_{r,y}$	1.32
$C_{f,y}$	1.78	$C_{r,yref}$	1.38
$C_{f,yref}$	1.21	$D_{r,y}$	7834N
$B_{f,y}$	6.9	$D_{r,yref}$	$10^4 N$

CONCLUSIONES

Este trabajo se realiza con la finalidad de proponer un controlador autónomo para el automóvil con velocidad

lateral, partiendo del modelo matemático de la bicicleta en la plataforma de software Matlab-Simulink y Scilab, estableciendo las consideraciones antes mencionadas, observando que cada software tiene características diferentes de simulación, donde se desea mostrar las diferencias, para sus posibles aplicaciones a futuro en forma física, las cuales pueden ser de utilidad para los diseños de las tarjetas electrónicas del control activo.

Además, analizando esta propuesta desde su matemática, se concluye que el objetivo del controlador será buscar el control para todo tipo de manejo por parte del conductor o sensor de volante imponiendo un ángulo en las llantas con el afán de no caer en sobreviraje ya que son los errores más comunes a la hora de conducir un vehículo. El diseñar el algoritmo para establecer ganancias  $k_1$ ,  $k_2$ , las cuales se proponen para la ley de control por retroalimentación de estados, también se puede cambiar para ampliar o disminuir la delta del controlador ( $\delta_c$ ), además de poder cambiar estos parámetros para establecer valores diferentes tanto para la velocidad lateral y velocidad angular de viraje aplicadas a las ruedas del automóvil. Con esta simulación de señal de entrada del conductor o sensor de volante, se puede mencionar que el controlador autónomo propuesto trabaja en forma eficiente, para realizar trabajos de control sobre el automóvil. Como trabajos a futuro se deben comparar estos resultados de este artículo de investigación con alguna otra plataforma vehicular como la Hil de National Instruments por mencionar un estándar internacional.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen todos los recursos tecnológicos utilizados del Tecnológico Nacional de México.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Bianchi., A. Borri., G. Burgio., y S. Di Gennaro. (2010). *Adaptive Integrated Vehicle Control Using Active Front Steering and Rear Torque Vectoring*. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems, Special Issue on: Autonomous and Semi-Autonomous Control for Safe Driving of Ground Vehicles*, 8(2-4), 85-105.

[2] Lv, Chen., Liu, Yahui., Hu, Xiaosong., Guo, Hongyan., Cao, Dongpu y Wang, Fei-Yue. (2018). *Simultaneous Observation of Hybrid States for Cyber-Physical Systems: A Case Study of Electric Vehicle Powertrain*. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 48(8), 2357-2367.

[3] Aligia, Diego, A., Magallan, Guillermo, A., y De Angelo, Cristian. (2018). *Control de Tracción para un Vehículo eléctrico basado en Observadores no Lineales*. *Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial*, 1(15), 112-123.

[4] C. Earl Beal., y J. Christian Gerdes. (2013). *Model Predictive Control for Vehicle Stabilization at the Limits*

*of Handling, IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21(4), 1258-1269.

[5] Oh, J., Choi, B., Chang, Y., J y EO, J. S. (2017) *Engine Clutch Torque Estimation for Parallel-Type Hybrid Electric Vehicles*. *International Journal of Automotive Technology*, 18(1), 125-135.

[6] D. Rubin., y S. Arogeti. (2013). *Vehicle Yaw Stability Control Using Rear Active Differential via Sliding Mode Control Methods*. *2013 21<sup>st</sup> Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, Platania-Chania, Crete, Grece, 317-322.

[7] H. Ren., S. Chen., G. Liu y K., Zheng. (2014) *Vehicle State Information Estimation with the Unscented Kalman Filter*. *Advances in Mechanical Engineering*, 2014, 11-20.

[8] J. Tjonns., y T.A. Johansen. (2010). *Stabilization of Automotive Vehicles Using Active Steering and Adaptive Brake Control Allocation*. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 18(3), 545-558.

[9] H. B. Pacejka. (2005) *Tyre and Vehicle Dynamics*. Elsevier Butterworth.

[10] R. Rajamani. (2006) *Vehicle Dynamics and Control*. Springer, New York.



Mecánica  
*de*  
Materiales

---

Ingeniantes

# Prototipo para la evaluación de algoritmos de estimación de presión arterial por el método oscilométrico



## Colaboración

Heriberto Alvarez Contreras; Ramón Chávez Bracamontes, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

**RESUMEN:** En este presente trabajo se desarrolló una interfaz para la estimación de la presión arterial utilizando el método oscilométrico. La interfaz permite visualizar la simulación de la variable de la presión arterial de un paciente a través del equipo biomédico NIBP y también poder visualizar la variable de una persona física.

Se realizaron diferentes pruebas con diferentes parámetros para estimación de la presión arterial para poder lograr una correcta estimación y así comparar los resultados obtenidos con un monitor de signos vitales, que nos ayudara a evaluar nuestro prototipo. La plataforma se desarrolló utilizando un sistema embebido mediante una tarjeta para la adquisición de datos NI myRIO de National Instruments y la implementación de una interfaz gráfica a través de instrumentación virtual con el software Labview.

**PALABRAS CLAVE:** Algoritmo, método oscilométrico, presión arterial, Equipo Biomédico (NIBP).

**ABSTRACT:** In this present paper was developed an interface for the estimation of blood pressure using the oscillometric method. The interface allows to visualize the simulation of the variable of the blood pressure of a patient through the NIBP biomedical equipment and also to be able to visualize the variable of a physical person. Different tests were carried out with different parameters to estimate blood pressure in order to achieve a correct estimate and thus compare the results obtained with a vital signs monitor, which will help us evaluate our prototype. The platform was developed using an embedded system using a card for the acquisition of NI myRIO data from National Instruments and the implementation of a graphical interface through virtual instrumentation with Labview software.

**KEYWORDS:** Algorithm, oscillometric method, blood pressure, NIBP simulator.

## INTRODUCCIÓN

La medición de la presión arterial es una actividad tan necesaria en la medicina, ya sea para determinar parámetros en estudios clínicos e identificar determinadas enfermedades, para el control de la hipertensión, o para la evaluación del estado de pacientes dentro de las unidades de cuidados intensivos y salas quirúrgicas [1][2].

Existen dos formas fundamentales de realizar la medición de la presión arterial: La primera es mediante los métodos intermitentes, los que brindan presiones puntuales como la presión sistólica (PS), presión diastólica (PD) y presión media (PM), calculándolas en un periodo de tiempo que cubre más de un latido del corazón. Dentro de los métodos intermitentes más empleados se encuentran el método auscultatorio, el método oscilométrico, el método palpatorio y el método ultrasónico. La segunda es mediante métodos continuos, los que brindan presiones puntuales latido a latido, o la forma de onda continua de la presión arterial. Los métodos invasivos más comunes son los métodos de tonometría arterial y método de velocidad de la onda del pulso [2][3].

El método no invasivo que más emplean los instrumentos para medir la presión arterial en la actualidad es el oscilométrico, que basa su funcionamiento en monitorear las variaciones u oscilaciones de la señal de presión en una bolsa inflable (manguito) que se aplica alrededor del brazo, logrando determinar a través del análisis de esta señal los valores PS, PD y PM de los pacientes [4][5].

La ventaja en el uso del manguito permite calibrar una presión estática de hasta 500 mmHg para cumplir con la norma en lo que respecta a la seguridad del paciente (seguridad ante sobrepresión por excesivo inflado del manguito, permitiendo chequear la seguridad por software y por hardware del monitor).

Entre las desventajas de uso del manguito en el caso particular de los adultos mayores, las rigideces de las paredes de los vasos hacen que las cifras de presión arterial sean subestimadas de manera significativa [3][6][7].

En el presente trabajo se implementó un prototipo para asistir en la evaluación de equipo biomédico utilizando técnicas de instrumentación virtual, basado en un diseño modular abierto, que incluye prestaciones como la reprogramación de algoritmos de estimación, permitiendo generar complejos esquemas de medición de presión arterial no invasiva para su uso en trabajos de investigación y servicios de calibración.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

El presente trabajo se realizó en el área de posgrado, edificio S perteneciente al instituto tecnológico de ciudad Guzmán, Jalisco.

El sistema desarrollado para la estimación de la presión arterial se muestra en la Figura 1, el cual la etapa 1 se utiliza el equipo biomédico para generar una presión arterial controlada. Este sistema nos genera parámetros de presión arterial sobre diferentes tipos de patologías.

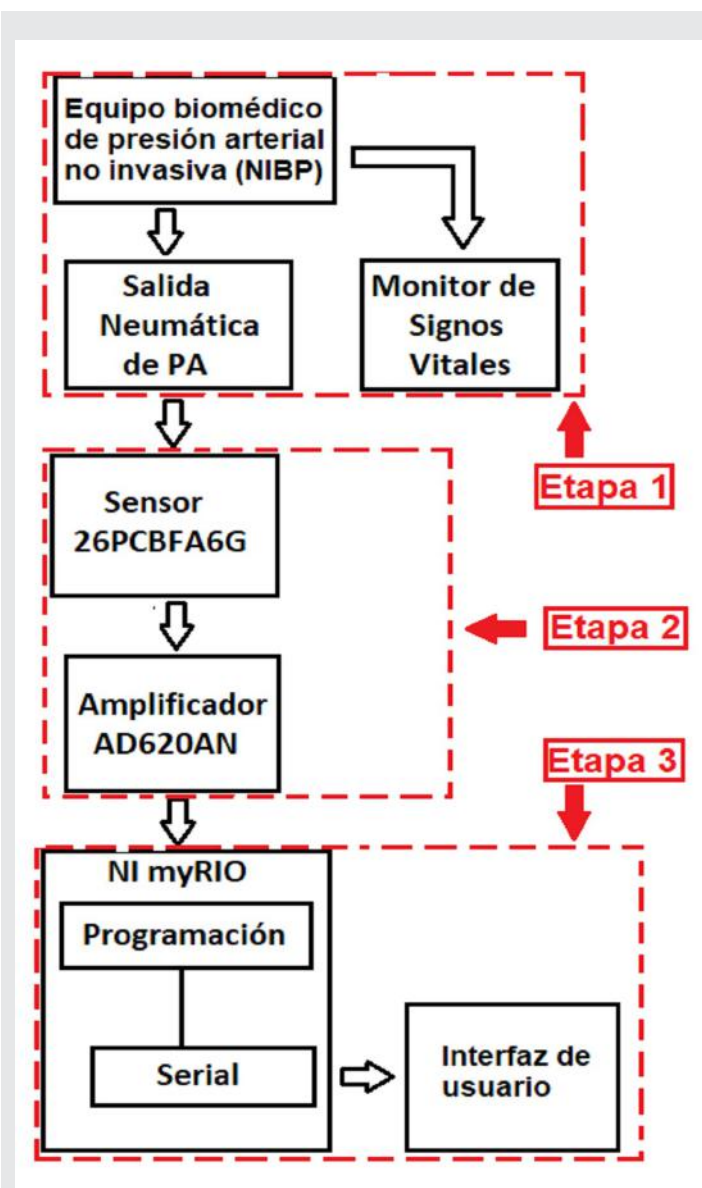


Figura 1. Sistema de evaluación de algoritmos de presión arterial.

La etapa 2 consiste en la adquisición de datos a través del sensor 26PCBFA6G de la compañía Honeywell, que es un sensor de baja presión, esto debido a que la señal a medir de presión arterial varía desde los 0 mmHg hasta los 260 mmHg, que equivale de 0 kPa hasta 35 kPa, la salida del sensor se conecta al amplificador operacional AD620.

Para la etapa 3 se implementó una interfaz para el desarrollo y evaluación, basada en instrumentación virtual mediante el software LabVIEW de la compañía National Instruments, la cual consta de una interfaz de usuario desarrollada en el entorno gráfico. Para la adquisición de datos se empleó un sistema embebido, como lo es la tarjeta NI myRIO de National Instruments.

El equipo biomédico es un aparato electrónico que permite reproducir las señales vitales de una perso-

na tales como el ritmo cardiaco y algunas anomalías del cuerpo como arritmias cardiacas.

Se comparó el equipo biomédico (NIBP) respecto a otros equipos de la compañía FLUKE, ya que son los de mayor costo por su mejor exactitud y mayores prestaciones, pueden llegar a simular diversas señales.

Uno de ellos fue el equipo ProSim 8 y el Prosim 4, una vez analizadas las características de estos simuladores, se pudo observar que todos especifican una exactitud del  $\pm 1\%$  a  $\pm 0,5\%$  de lectura, nuestro equipo biomédico (NIBP) tiene ventaja del costo-beneficio, ya que al no ser tan caro como el ProSim 8, tiene casi las mismas características que este y mucho mejores que las del ProSim 4[3], a pesar q estos equipos son más nuevos, se decidió comprar el equipo biomédico (NIBP) con un valor aproximado a los 2000 dólares.

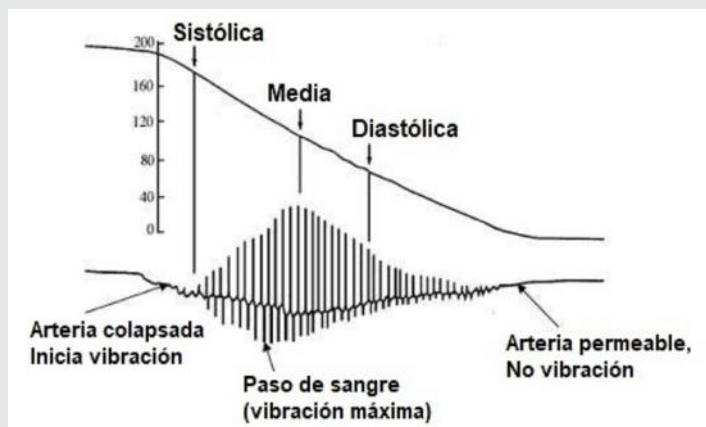


Figura 2. Onda Característica del método oscilométrico. (Fuente tomada de Shyam Rithalia [ 8 ]).

El método oscilométrico descrito en [2,3] es utilizado en el presente trabajo debido a que en la actualidad existen una gran variedad de medidores automatizados para la medición de la presión arterial empleados tanto para el sector clínico como doméstico por su facilidad de uso.

En la Figura 2 se muestra la onda característica del método oscilométrico, obtenida mediante un sensor de presión colocado en el manguito, inflado hasta un punto en el cual las oscilaciones comienzan rápidamente a aumentar, al llegar al punto más alto se muestra la presión sistólica, que es la presión más elevada ejercida por la onda de la sangre expulsada a través de vena, al final de la gráfica se logra ver la presión diastólica, hace referencia a la cantidad de presión en las arterias cuando el corazón se encuentra en reposo entre los latidos, donde las variaciones de las oscilaciones disminuyen de forma más abrupta y por último la presión media, que es la media aritmética de los valores de las presiones sistólica y diastólica.[4][5][9]

Los valores normales de la presión arterial sistólica oscilan entre 100 y 140 mm de Hg y de la presión diastólica: entre 60 y 90 mm de Hg[6][9].

El programa en código G se observa en la Figura 3 incluye librerías que nos ayudan para la interfaz de comunicación con el hardware.

Se usaron utilerías como el NI myRIO Wizard (Figura 3) que es la herramienta para establecer comunicación con el hardware embebido de la tarjeta NI myRIO de National Instruments, utilizada para la adquisición de datos.

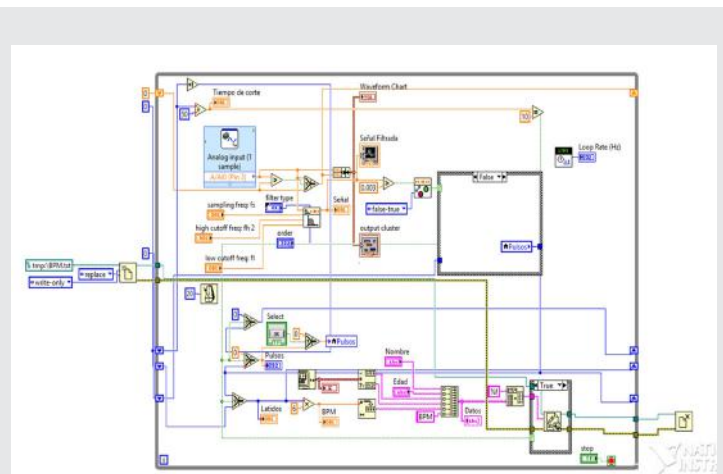


Figura 3. Diagrama a bloques en código G.

La primera fase consistió en adquirir la presión arterial durante la fase de la bolsa inflable (manguito) empleado en conjunto con el sensor de presión y el sistema embebido mostrado en la Figura 4.

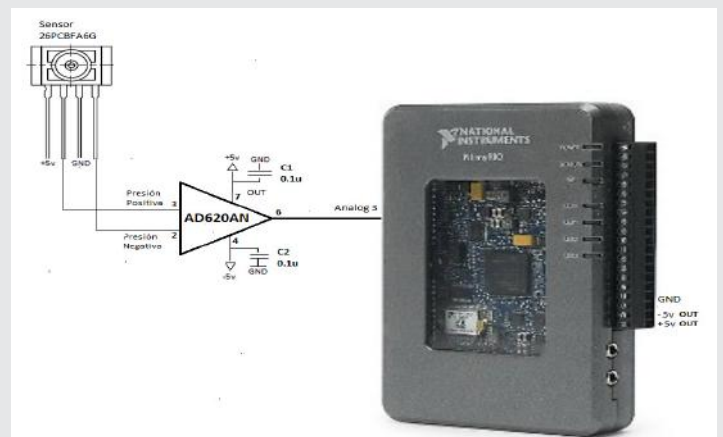


Figura 4. Diagrama de conexiones del sensor 26PCBFA6G a la entrada A3 de la tarjeta NI myRIO.

Para la adquisición de la señal oscilométrica, se utilizó un sensor de presión no amplificado de la serie 26PCXXA6G, ya que esta serie de sensores tiene un rango de error muy bajo y son muy precisos.

Los sensores de presión piezorresistivos de silicio proporcionan una salida de voltaje lineal y altamente precisa, directamente proporcional a la presión aplicada. El sensor es un diafragma de silicio monolítico único con extensómetro y una red de resistencia de película delgada integrada en el chip. El chip está cortado con láser para lograr una calibración precisa de desplazamiento y compensación de temperatura.

Para la amplificación del sensor se utilizó un amplificador operación AD620 (Figura 4), con una configuración propuesta para lograr el voltaje deseado, con el cual poder hacer el filtrado, para esto se utilizó el filtro butterworth que nos brinda varias opciones de tipos de filtros y así realizar el algoritmo para la estimación de la presión arterial.

La interfaz de la Figura 5 entrega los valores censados de forma numérica y gráfica, además registra el comportamiento de la lectura en el periodo de inflado y desinflado de la bolsa inflable (manguito).

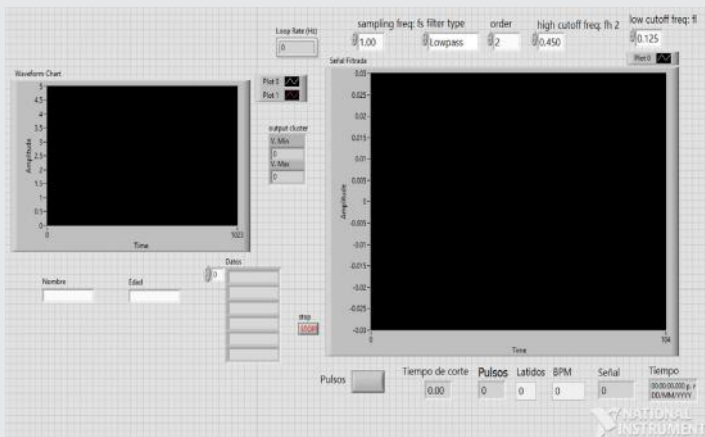


Figura 5. Interfaz gráfica para la adquisición de la presión arterial.

**RESULTADOS**

Las primeras pruebas se enfocaron en adquisición de las señales provenientes del Cufflink a través de un sistema de adquisición y acondicionamiento mediante un sistema embebido y una interfaz gráfica cuyos resultados se compararon contra un monitor de signos vitales comercial.

Se utilizaron también varios tipos de Amplificadores Operacionales como el INA126, AD623 y AD620, este último fue el utilizado para la amplificación del sensor, se utilizó una resistencia de 500 ohms para la amplificación del mismo.

El resultado observado en la interfaz gráfica mostro que los patrones de la presión arterial generada correspondían con el monitor de signos vitales, al mismo tiempo se adquiere la medición en el sistema embebido a través del sensor 26PCBFA6G.

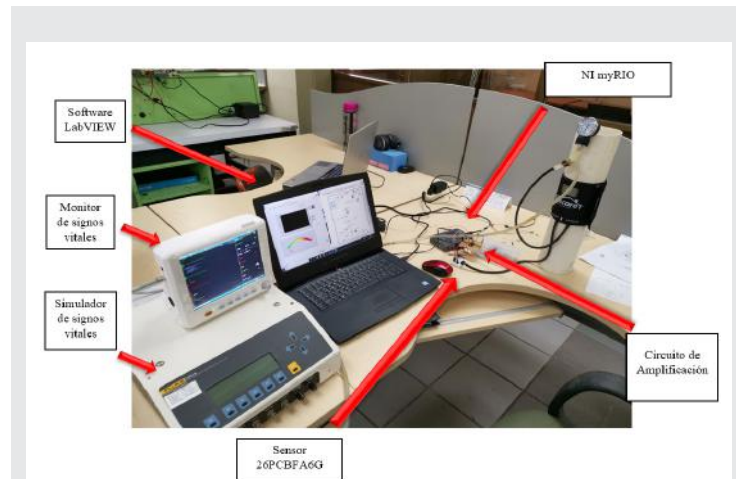


Figura 6. Sistema de Evaluación del equipo biomédico de presión arterial no invasiva (NIBP).

Los resultados fueron comparados respecto con la señal dada por el equipo (NIBP) y el monitor de signos vitales (Figura. 7) en el sistema implementado mediante instrumentación virtual.

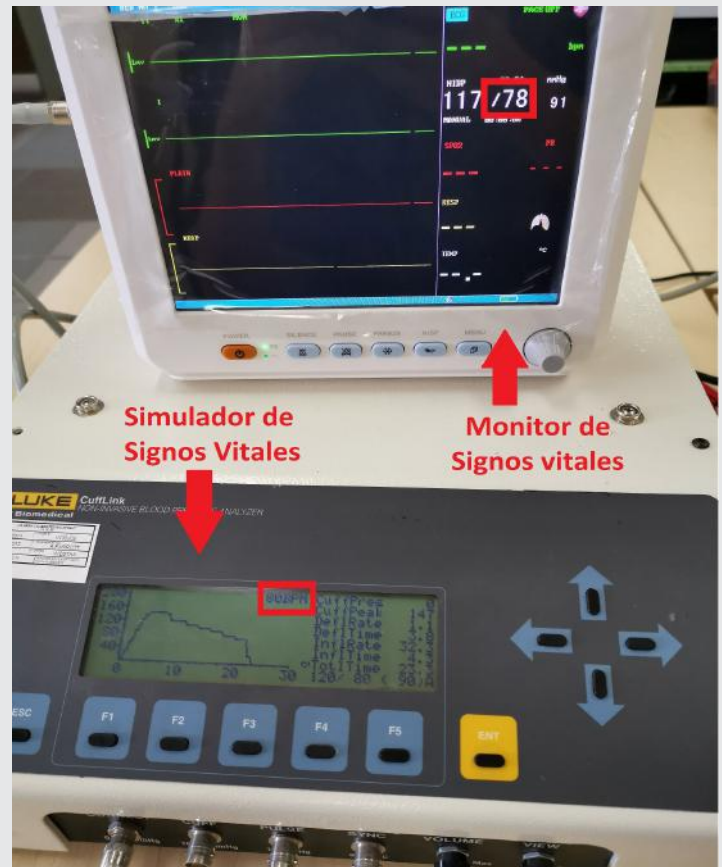


Figura 7. equipo biomédico Cufflink y Monitor de Signos Vitales

Se logró observar que la señal corresponde con las del simulador.

En el panel frontal de Labview (Figura 8) se observan los resultados de la estimación del programa respecto a la señal entregada por el equipo (NIBP), también

se imprimen los datos del paciente en un arreglo array donde se observan estos mismos, así como la Fecha y la estimación de los BPM del programa.

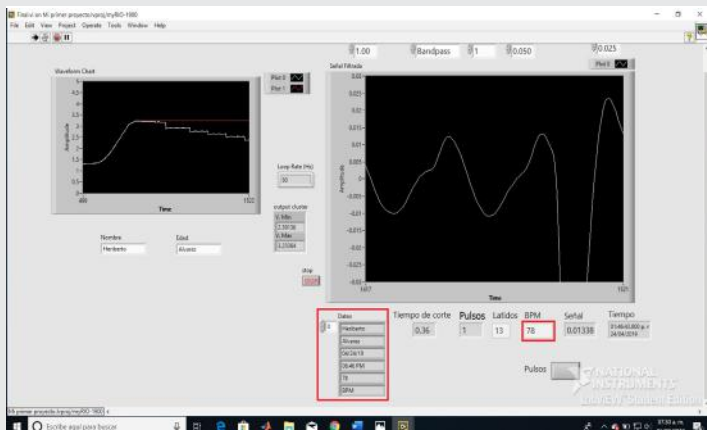


Figura 8. Resultados panel frontal de Labview

Los datos se envían a un documento.txt (Figura 9) para visualizar un poco mejor la estimación mientras el programa estaba ejecutándose.

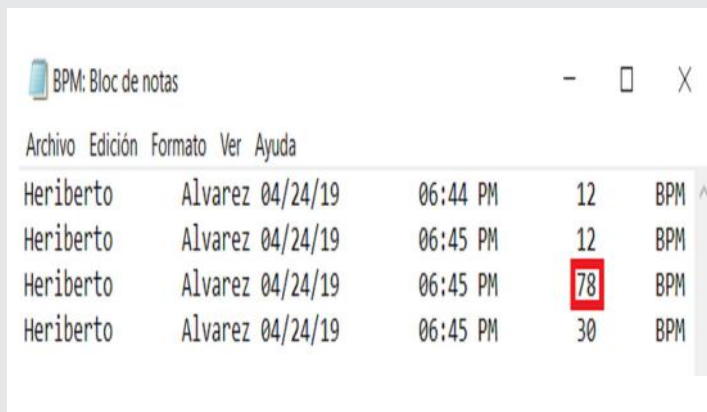


Figura 9. Resultados en archivo txt

## CONCLUSIONES

En el prototipo presentado se logró un avance para la toma de presión arterial, se utilizaron diferentes tipos de filtrado a través del diagrama a bloques de Labview, por medio del filtro butterworth, se compararon las diferentes señales que esta herramienta nos provee, utilizando diferentes parámetros para la frecuencia de corte alta y baja, se limpió la señal lo mejor posible para su análisis.

El arreglo del sistema de evaluación mostrado en la Figura 6 utiliza un equipo biomédico de presión arterial no invasiva (NIBP) con el objetivo de generar una presión arterial bajo condiciones controladas. Para nuestro caso empleamos el equipo Cufflink (NIBP) de la compañía FLUKE. Este dispositivo puede emular el comportamiento humano de diferentes patologías y

ser un patrón de referencia en nuestra evaluación de los algoritmos para estimación de la presión arterial. De esta forma no se requieren de pruebas clínicas con el empleo de este equipo, el cual genera las señales para propósitos de experimentación y o calibración.

Los resultados obtenidos nos ayudaran en las siguientes etapas para lograr un sistema completo e incorporar el análisis de la señal bajo diferentes esquemas de algoritmos que nos permitan utilizar el sistema como un patrón estándar utilizando el método oscilométrico para la evaluación de equipo biomédico en la toma de presión arterial no invasiva.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] A. C. Arias, *diseño de un sistema para la evaluación de los simuladores y/o analizadores utilizados para la calificación de esfigmomanómetros*, 2018.

[2] H. V. M. S. I. Mohamad, «Oscilloetric Blood Pressure Estimation: Past, Present and Future,» p. 19, 2015.

[3] R. Chávez-Bracamontes, J. J.-C.-T.-d.-T "El uso de los simuladores de presión arterial no invasiva para la validación de esfigmomanómetros automatizados". REIA, 6, 2018.

[4] G. A. v. Montfrans, «Oscillometric blood pressure measurement: progress and problems,» *Blood Press. Monit.*, vol. 6, 2001.

[5] *Australian Health Survey: First Results*, Australian Bureau of Statistics, 2012.

[6] M. s. S. Hansen, «oscillometric blood pressure measurement used for calibration of the arterial tonometry method contributes significantly error,» *Eur. J. Anaesthesiol.*, vol. 23, 2006.

[7] Association for the Advancement of Medical Instrumentation. "American National Standard for Manual, Electronic, or Automated Sphygmomanometers, SP10-2002", ANSI/AAMI, 2003.

[8] Shyam Rithalia, Mark Sun and Roger Jones, "Blood Pressure Measurement", 1999 by CRC Press LLC.

[9] Medtronic, «making NIBP work for you,» *clinical information*, 2007.





Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón



## Colaboración

Jesús Alberto Verduzco Ramírez; Patricia Elizabeth Figueroa Millán; Juan de Dios Barajas Corona; Elena Elsa Bricio Barrios; J Reyes Benavides Delgado, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima

**RESUMEN:** El desarrollo intensivo de la acuicultura en México se debe principalmente a la producción de camarón, siendo éste una de las principales fuentes de ingreso. Las ganancias de su producción dependen principalmente de la calidad del agua del estanque, manteniendo especialmente en niveles óptimos los parámetros de oxígeno disuelto, salinidad, nivel de pH y temperatura. Entre los principales problemas para maximizar estas ganancias está la respuesta retardada en el cuidado de la calidad del agua. En este trabajo de investigación, aún en proceso, se describe el diseño y desarrollo de un dispositivo portátil para el monitoreo de la calidad del agua, acoplado a un sistema de alarma en caso que los parámetros de calidad estén fuera de rango, utilizando herramientas y tecnologías abiertas para su escalabilidad e integración futura con redes de sensores y aplicado en el monitoreo los parámetros de oxígeno disuelto, salinidad, pH y temperatura en una granja de acuicultura de camarón en el municipio de Manzanillo. Como resultado, éste permite monitorear y mantener las condiciones adecuadas de agua, proporcionando información relevante y oportuna.

**PALABRAS CLAVE:** Acuicultura, calidad del agua, dispositivo de monitoreo, sensores.

**ABSTRACT:** The development of aquaculture in Mexico is principally due to the production of shrimp, which is one of the major sources of income. The gains of shrimp production depend mainly on water quality of the pond, keeping the parameters of dissolved oxygen, salinity, pH level and temperature at optimum levels. Among the main problems to maximize these gains is the delayed response in the care of water quality. In this research work, still in progress, we describe the design and development of a portable device for water quality monitoring, using open tools and technologies for its scalability and future integration with a sensor network. It is implemented specifically to monitor parameters of dissolved oxygen, salinity, pH and temperature in a shrimp aquaculture farm in the municipality of Manzanillo. As a result, it allows to monitor and maintain the suitable water conditions, providing relevant and timely information

**KEYWORDS:** Aquaculture, monitoring device, water quality, sensors.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos que implica intervenciones en el proceso de criar para aumentar la producción, en este ámbito se incluye el cultivo de camarón, que en el 2018 alcanzó cerca de 4 millones de toneladas con un incremento del 3 al 5% con respecto al 2017 en la producción nacional [1]. Actualmente, México posee 12,555 km<sup>2</sup> de superficie en la costa para la siembra, crianza y cosecha de camarón [2]. Por otro lado, la FAO [3] reportó que el clima de regiones como Sonora, Sinaloa, Jalisco, Colima y Veracruz son consideradas como ideales para la crianza y cultivo de camarón.

En específico, Colima, ocupa el quinto lugar en la producción de camarón en granjas acuícola una producción de 40 mil toneladas de camarón en el 2018 [4], estas empresas están distribuidas en 9 de los 10 municipios del estado con un total de 17 empresas camaroneras. Aunque, es posible incrementar la producción del

estado, los productores de camarón han reportado que la rentabilidad de este oficio está comprometida por la presencia de bacterias en los tanques de crecimiento, las cuales puede alcanzar la mortandad de hasta el 80% su población [5]. Mientras que, la producción sobreviviente alcanza una talla y peso menor respecto a una cosecha sana [6].

Por otro lado, se ha demostrado que el monitoreo continuo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua del estanque ayudan no sólo a predecir y controlar las condiciones negativas de la acuicultura, sino también a evitar el colapso del proceso de producción. El monitoreo de parámetros como: oxígeno disuelto, temperatura, pH en el agua es vital para mantener las condiciones adecuadas y evitar situaciones no deseables que pueda llevar a un colapso del sistema acuícola [7].

Si bien, se puede monitorear parámetros fisicoquímicos del agua en las plantas acuícolas, en la literatura abierta se ha reportado que algunos parámetros son fundamentales para garantizar la sobrevivencia y cosecha del camarón. Por ejemplo: la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH. La temperatura tiene un efecto en los procesos químicos y biológicos en un estanque de cultivo, controlando la solubilidad de los gases en el agua, la velocidad de reacción química y la toxicidad del amonio [8]. Por otro lado, la concentración mínima de oxígeno para mantener una tasa aceptable de supervivencia varía con el tiempo de exposición, en bajas concentraciones los camarones son más susceptibles a enfermedades y bajas tasas de alimentación y crecimiento [9]. La salinidad, en altas concentraciones reduce los niveles de oxígeno disuelto y obliga a los organismos a tratar de regular ésta, implicando un gasto energético que puede verse reflejado en una menor tasa de crecimiento. Además, cuando el pH tiene valores bajos o elevados éste causa estrés en los organismos, disminuyendo la reproducción [4]. Para una buena salud del camarón los valores óptimos de oxígeno disuelto son entre 4 - 5 ppm, un pH entre 7.5 - 8.5 y una temperatura ideal entre 25 - 31°C [10].

Tradicionalmente, el monitoreo diario de los parámetros de calidad del agua en granjas acuícolas se realizaba a través de una muestra del agua del estanque para su análisis en laboratorio. Posteriormente, se incluyó el uso de oxímetros digitales, permitiendo medir los niveles de oxígeno disuelto y temperatura; sin embargo, la desventaja principal de su uso es el costo de adquisición del dispositivo portátil, mantenimiento y soporte, así como los potenciales errores humanos al efectuar el registro manual de los parámetros muestreados con este dispositivo. Para resolver esto, el uso de dispositivos basados en tecnologías abiertas posibilita la reducción del costo de adquisición, mantenimiento, soporte y muestreo de múltiples parámetros, así como su posible integración con redes inalámbricas de sensores,

solventando las desventajas presentadas a través de la medición con oxímetros digitales.

Trabajos similares han sido desarrollados para el monitoreo de la calidad del agua en distintos contextos. En [11] un dispositivo multiparámetro para el monitoreo de la calidad del agua en la producción de pescado es descrito, el cual se diseñó para medir el oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad. Sin embargo, al igual que en trabajos similares como el de [12] la portabilidad está limitada, porque los sensores deben estar conectados a través del puerto serial a un visualizador de datos que, en muchos casos son computadoras. En [13] se muestra un dispositivo para el monitoreo de la calidad del agua para el cultivo de peces de anguila, diseñado e implementado utilizando una Raspberry Pi en conjunto con un sensor de oxígeno disuelto, temperatura y acidez, así como un actuador para controlar el efecto de la aireación. Los datos muestreados se presentan en un programa de visualización local en una PC con portabilidad limitada. En [14] se muestra un sistema de monitoreo y control de calidad del agua para cultivos de camarón, desarrollado para medir el oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura. Este sistema está implementado en un sistema embebido constituido por un mini-pc, un controlador y un módulo SIM900 para notificar al acuicultor a través de mensajes SMS sobre algún cambio relevante en alguno de los parámetros muestreados.

Recientemente, Olivo [15] reportó el diseño e incorporación de un sistema de monitoreo en tiempo real de los parámetros de calidad de agua como pH, temperatura, conductividad de eléctrica y oxígeno disuelto, a través de una estructura fija anclada en el interior de los tanques de crecimiento de camarón. Si bien, su propuesta ha mostrado alto desempeño, este sistema está limitado al sensado, coordinación y publicación de los parámetros de calidad en solo un estanque, tornado un problema logístico y económico la incorporación de otros sistemas fijos para disponer de las mediciones en todos los tanques de crecimiento que disponga la granja acuícola.

Por lo tanto, en este trabajo muestra una propuesta exploratoria basada en el desarrollo de un dispositivo portátil multiparámetro para el monitoreo de oxígeno disuelto, salinidad, pH y temperatura del agua en granjas acuícolas de camarón. Este dispositivo ha sido diseñado y desarrollado utilizando tecnologías abiertas y de uso libre y el cual, además, permite la notificación de los parámetros muestreados a un dispositivo móvil través del servicio de mensajes cortos (SMS) mediante un módulo GSM.

El desempeño del prototipo se realizó en las empresa productora y comercializadora agrícola, ganadera y acuícola Hueso S.P.R. ubicada en el municipio de Manzanillo, empresa que permitió el desarrollo e incorpora-

ción del sistema fijo para el monitoreo de los parámetros de calidad reportado por Olivo [15].

## MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño e implementación del dispositivo móvil para el monitoreo de la calidad del agua en granjas acuícolas presentado que se propone en este trabajo de investigación se desarrolló siguiendo el modelo de prototipado, cuyo diseño se basa en identificar las especificaciones de los requisitos, la solución y, en algunos casos, la tecnología más adecuada para las condiciones socioeconómicas de los acuicultores.

Para la elaboración del prototipo fueron necesarios los materiales descritos en la Tabla 1, la cual muestra los distintos tipos de componentes de hardware y una breve descripción de éstos. Para la selección de estos componentes se consideró su precisión, confiabilidad y uso industrial, permitiendo el desarrollo de un dispositivo portátil multiparámetro con tecnologías de uso libre y abiertas.

Tabla 1. Especificación de los componentes de hardware del dispositivo portátil.

Tipo	Descripción
Conector BNC Hembra - Atlas Scientific	Interfaz de hardware especial para conectar los sensores Atlas Scientific a los respectivos EZO.
Microcontrolador ATmega328	Placa con microcontrolador
PT-100 (Probeta de temperatura - AtlasScientific)	Sensor de temperatura con rangos desde -200°C a 850°C.
Circuito de Temperatura EZO-RTD - AtlasScientific	Circuito de temperatura que permite la lectura precisa de temperatura a través del sensor PT-100.
Probeta de Oxígeno Disuelto - AtlasScientific	Sensor de oxígeno disuelto con rango desde 0 - 100 mg/L.
Circuito de Oxígeno Disuelto EZO-DO - AtlasScientific	Circuito de oxígeno disuelto capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Probeta de pH - AtlasScientific	Sensor de pH para rangos de 0-14.
Circuito de pH EZO-pH - AtlasScientific	Circuito de pH capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Probeta de conductividad - AtlasScientific	Sensor de Conductividad para rangos de 0.07 - 500,000+ S/cm
Circuito de conductividad EZO-EC - AtlasScientific	Circuito de conductividad capaz de leer micro-voltajes en el agua.
Expansor puerto serie (8:1) - AtlasScientific	Circuito que permite conectar ocho dispositivos a través de una sola interfaz de serie
Pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2 + Interfaz I2C	Pantalla LCD con dos filas de dieciséis caracteres cada una, controlada por un circuito I2C para su fácil manipulación.
Zumbador Genérico	Dispositivo electrónico capaz de emitir sonidos con una frecuencia entre 300-2300Hz
Módulo GSM SIM900	Componente electrónico capaz de enviar SMS y comunicación GPRS a través de una tarjeta SIM
Módulo de almacenamiento 120801	Componente electrónico que permite la escritura y lectura de datos en una tarjeta Micro SD

La arquitectura del sistema propuesto se presenta en la Figura 1, mediante un diagrama de bloques.

La Figura 1 muestra la configuración del dispositivo móvil que está constituido por cuatro componentes: un microcontrolador, un módulo de almacenamiento, un módulo para notificaciones vía SMS, un módulo de despliegue que consiste en una pantalla LCD que es controlada por una interfaz I2C, y un módulo de medición que se compone por los cuatro sensores con sus respectivos circuitos controladores y el expansor de puerto serie.

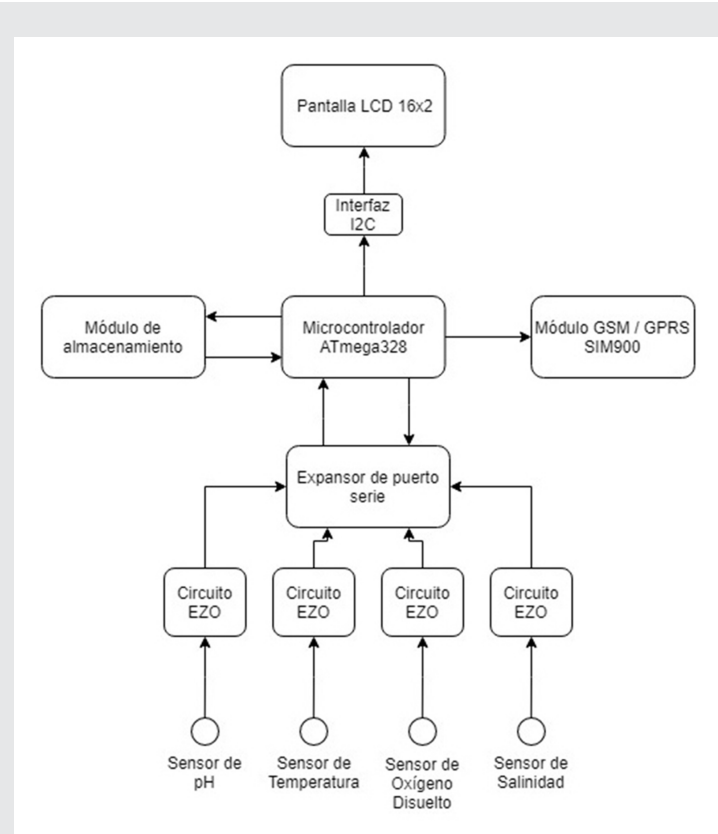


Figura 1. Diagrama de bloques del dispositivo.

Para lograr lo anterior, se realiza un proceso de inicialización en el microcontrolador al momento de encender el dispositivo portátil, y mediante bloques de código se despliega un mensaje de bienvenida, continuando con la medición de los parámetros.

Por otro lado, el dispositivo fue realizado en laboratorio para determinar la precisión y exactitud del dispositivo en el muestreo y despliegue de los valores muestreados, a través del uso de soluciones buffer para la calibración de los sensores. La solución buffer para la calibración del sensor de oxígeno disuelto está compuesta por 70 por ciento de agua y 30 por ciento de sulfito de sodio. Mientras que, las soluciones buffer para la calibración del sensor de pH está compuesta por agua en un 99.2 por ciento, 0.7 por ciento de tetraborato de

sodio y 0.1 por ciento de ácido clorhídrico. Finalmente, la solución para la calibración del sensor de salinidad está compuesta por 70 por ciento agua y 30 por ciento de cloruro de potasio.

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, se realizaron las pruebas con las soluciones correspondientes. Se comenzó con el de pH, utilizando el buffer de menor magnitud que es el de 4.0. Posteriormente se utilizaron uno de 7.0 y 10.0, en ese orden. Las lecturas registradas por el sensor mostraron una funcionalidad óptima, con un margen de diferencia menor a 0.1 unidades.

Un procedimiento similar se llevó a cabo con el sensor de salinidad, en donde primero se probó con una solución de 12,880 ppm, y posteriormente una de 80,000 ppm. En ambas pruebas el resultado fue el esperado, pues en la práctica la diferencia no mayor a 10 unidades es despreciable. Así mismo, en el caso de oxígeno disuelto se utilizó una solución cuyo valor es de 0 ppm. La diferencia registrada fue menor a 0.1, por lo que se considera que el sensor se encuentra en óptimo funcionamiento. En la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos en las pruebas realizadas con las soluciones buffer.

**RESULTADOS**

La funcionalidad y eficiencia de los sensores acoplados al sistema de medición y notificación propuestos fueron evaluados a través de las soluciones buffer mencionadas anteriormente, donde se logró comprobar la eficacia del dispositivo (ver Tabla 2).

*Tabla 2. Datos de las pruebas realizadas con las soluciones buffer.*

Sensor	Esperado	Obtenido
pH	4.0	4.122
	7.0	7.012
	10.0	10.131
Salinidad	12,880	12,876
	80,000	79,993
Oxígeno disuelto	0	0.148

Como se puede observar en la Tabla 2, la precisión o exactitud de las mediciones obtenidas de los parámetros muestreados con el dispositivo portátil denotan su eficacia. La ligera variación observada en cada uno de éstos se debe a la exactitud ofrecida por los sensores, para el pH se ofrece una exactitud del  $\pm 0.002$  [16], para la salinidad del  $\pm 2\%$  [17], y para el oxígeno disuelto del  $\pm 0.05$  [18].

Para obtener simultáneamente el valor proporcionado por los cuatro sensores, se utilizó el expansor de puerto serie. Este expansor tiene la particularidad de abrir y cerrar un puerto de acuerdo con el que el microcontrolador le indique.

Mientras que, el despliegue de la magnitud de los parámetros, se utilizó un display LCD de 16x2 caracte-

res mediante el controlador I2C. La elección de esta pantalla se debe la versatilidad, facilidad de uso y fácil manipulación mediante los puertos de serie.

Uniendo estas dos características, la del expansor de puerto serie y la pantalla de cristal líquido, se puede mostrar en tiempo real el valor de los cuatro sensores, obteniendo y desplegando los datos de un sensor a la vez.

Para suministrar la energía eléctrica se utilizó una batería portátil de 10,000 mAh.

Como valor añadido, se incorporó una tarjeta Micro SD, mediante el módulo 120801, con la finalidad de crear un historial de datos. El bloque de código utilizado permite el almacenamiento del tipo de parámetro, el valor obtenido y los datos de la fecha y hora del registro. Además, este módulo provee la capacidad de enviar notificaciones por medio de mensajes tipo SMS, mediante el módulo SIM900, al celular del supervisor de calidad. Estas dos funcionalidades permiten al productor establecer periodos de monitoreo en donde el dispositivo portátil obtenga los datos de los parámetros de calidad del agua, los almacene y en caso de detectar una anomalía en alguna de las lecturas, realizar la notificación pertinente, permitiendo al productor realizar otras actividades mientras el dispositivo realiza las mediciones.

El dispositivo se conceptualizó y diseño pensando en la usabilidad de éste en el entorno de las granjas acuícolas, considerando que éste fuera ligero y ergonómico para su transporte, considerando una agarradera de 10 a 15 centímetros para que permitiendo adaptarse al ancho de la palma y lograr una sujeción adecuada, considerando lo establecido en [19].

En la Figura 2 se muestra el prototipo del dispositivo portátil propuesto en esta investigación para el monitoreo de la calidad del agua en granjas acuícolas.



*Figura 2. Dispositivo portátil para el monitoreo de la calidad del agua - Vista Exterior.*

El prototipo creado con esta investigación presenta como principal ventaja la portabilidad y su bajo costo de adquisición, así como la independencia de otras tecnologías como son equipos de cómputo.

## CONCLUSIONES

Se conceptualizó, diseñó e implementó un dispositivo multiparámetro portátil para el monitoreo de los parámetros de calidad en agua de granjas acuícolas. A diferencia de otras propuestas que son capaces de medir los mismos parámetros de calidad que el prototipo desarrollado, este dispositivo es versátil por la facilidad de transporte, sensado y medición en tiempo continuo de las variables de interés. Además, la actual propuesta provee ofrece la capacidad de realizar las mediciones durante altos periodos de tiempo y almacenar los datos sistemáticamente. Aunado a esto, este dispositivo es capaz de notificar al usuario un mensaje de texto, mediante SMS en caso de que algún parámetro se encuentre fuera del rango idóneo para el crecimiento del camarón.

Como trabajo futuro el prototipo descrito en este trabajo será aplicado para monitorear el oxígeno disuelto, nivel de pH, temperatura y salinidad en varias granjas acuícolas del estado de Colima, con la finalidad de evaluar y mejorar su usabilidad, medir su impacto y eficiencia en un entorno real.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *An estimated 3 million tonnes of shrimp entered the international trade in 2018*. Consultado el 17 de Julio del 2019 de la página electrónica: <http://www.fao.org/in-action/globefish/marketreports/resource-detail/es/c/1199292/>.

[2] Malagrino, G., Lagunas, M. y Rubio A. O. (2008). *Environmental impact reduction through ecological planning at Bahía Magdalena, México*. *J. Environ. Biol.* 29, 179-182.

[3] FAO. (2010). *Documento técnico de pesca N. 475, Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón, de la página electrónica: http://www.fao.org/3/i0300s/i0300s.pdf*

[4] Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (2018). *Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>

[5] Meganoticias. (2019). *Colima 5° lugar nacional en producción de camarón*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.meganoticias.mx/colima/noticia/colima-5o-lugar-nacional-en-produccion-de-camaron/>

*ma-50-lugar-nacional-en-produccion-de-camaron/51035*

[6] Instituto Nacional de Pesca. (2018). *Acuicultura | Camarón blanco del Pacífico*. Consultado el 25 de octubre del 2019 de la página electrónica: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-camaron-blanco-del-pacifico>

[7] Encinas, C., Ruiz, E., Cortez, J. and Espinoza, A. (2017). *Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture*. 2017 *Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*, 1-7.

[8] Frias-Espéricueta, M. y Páez-Osuna, F. (2001). *Toxicidad de los Compuestos del Nitrógeno en Camarones*. *Camaronicultura y medio ambiente* pp.129-150.

[9] Carbajal-Hernández, J., Sánchez-Fernández, L., Hernández-Bautista, I. and Hernández-López, J. (2017). *Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón*. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(5), pp.71-89.

[10] Maulana, Y., Wiranto, G., Kurniawan, D., Syamsu, I. and Mahmudin, D. (2018). *Online Monitoring of Shrimp Aquaculture in Bangka Island Using Wireless Sensor Network*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2), p.358.

[11] Defe, G. y Antonio, A. (2018). *Multi-parameter Water Quality Monitoring Device for Grouper Aquaculture*. 2018 *IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*.

[12] Flores-Mollo S. y Arcena-Pizarro, D. (2018). *Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones*. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 26, pp. 55-64.

[13] Salim, T., Haiyunnisa, T. and Alam, H. (2016). *Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture*. 2016 *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*.

[14] Natan, O., Gunawan, A. and Dewantara, B. (2019). *Design and Implementation of Embedded Water Quality Control and Monitoring System for Indoor Shrimp Cultivation*. *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, 7(1), pp.129-150.

[15] Olivo-Gutiérrez, M., N. García-Díaz, A. Olivo-Gutiérrez, J. A. Verduzco-Ramírez y J. Villabolos-Gómez. (2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22, pp.87-95.

[16] Atlas Scientific. (2019). Lab Grade pH Probe (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/pH\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH_probe.pdf)

[17] Atlas Scientific. (2019). Conductivity Probe K 0.1 (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/EC\\_K\\_0.1\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/EC_K_0.1_probe.pdf)

[18] Atlas Scientific. (2019). Dissolved Oxygen Probe (p. 1). Atlas Scientific. Obtenida el 9 de septiembre de 2019, de la página electrónica: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/DO\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/DO_probe.pdf)

[19] Patkin, M. (2001). A Check-List for Handle Design. South Australia: Department of Surgery The Royal Adelaide Hospital. Obtenida el 9 de Septiembre de 2019, de la página electrónica: <http://ergonomics.uq.edu.au/eaol/handle.pdf>



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

---

Ingeniantes



# Sistema inalámbrico portátil de bajo costo para monitoreo de las variables temperatura y humedad relativa en un invernadero



## Colaboración

José de Jesús García Cortés; Gustavo Chávez Orendain; Erick Yovanny Fajardo Gómez; Jesús Rafael Sahagún Benítez, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

**RESUMEN:** Se diseñó y se implementó un sistema de monitoreo vía radiofrecuencia para el invernadero del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, el cual tuvo como objetivo estar supervisando las dos variables más importantes que se tienen dentro de un invernadero (la humedad relativa y la temperatura), ya que, si estas variables no se encuentran dentro del rango permitido por el tipo de cultivo, puede repercutir en graves consecuencias para las plantas que se encuentran dentro del invernadero. El sistema que se ha diseñado es portable, capaz de transmitir datos a una distancia cercana a 1 km, y puede ser utilizado en ambientes que no pasen los 80°C en temperatura y 90% en Humedad relativa, además se le añadió al sistema dos salidas de control las cuales son utilizadas para controlar un variador de frecuencia el cual sirve para mover los actuadores (ventiladores, fogger y quemadores).

**PALABRAS CLAVE:** Invernadero, Humedad Relativa, Radiofrecuencia, Temperatura, Transmisor.

**ABSTRACT:** The radiofrequency monitoring system was designed and implemented for the greenhouse of the Technological Institute of Ciudad Guzmán, which had as objective to be monitoring the two most important variables within a greenhouse, which are relative humidity and temperature, since, if these variables are not within the range allowed by the type of crop, it can have serious consequences for the plants that are inside the greenhouse. The system that has been designed is portable, capable of transmitting data at a distance close to 1 km, and can be used in environments that do not exceed 80°C in temperature and 90% in relative humidity, in addition two outputs were added to the system of control which are used to control a frequency inverter which serves to move the actuators (fans, fogger and burners).

**KEYWORDS:** Greenhouse, Relative Humidity, Radio Frequency, Temperature, Transmitter.

## INTRODUCCIÓN

Los invernaderos son usados para reducir la influencia de factores adversos que limitan la producción y la calidad de los cultivos, en ellos se incluyen poder controlar las variables ambientales y hacer uso eficiente del agua con la que se riega el cultivo [1].

En la actualidad el poder monitorear y controlar el microclima que hay dentro del invernadero es una de las prioridades de los agricultores, puesto que, si no se tienen condiciones ideales para que el cultivo se desarrolle de la mejor manera, se reflejará directamente en el bolsillo del agricultor, puesto que tendrá que utilizar

más fertilizantes, plaguicidas e incluso gastar más agua para el riego. Pero en cambio si se tiene un control para las variables, el productor observara, como la producción empieza a incrementar y no gastara tanto en insumos para su producción. Un ejemplo de la problemática que se puede presentar al no controlar las variables ambientales es que, si la temperatura es alta el crecimiento del fruto será de manera desproporcionada y las plantas no absorberán los nutrientes de manera correcta, en el caso de la humedad relativa, si se encuentra de manera excesiva dentro del invernadero, se verá reflejado en hongos en las plantas y como consecuencia final, la planta morirá.

El uso de sistemas remotos o sistemas por radiofrecuencia que utilizan sensores y que recolectan datos en el ambiente están facilitando el monitoreo y control de entornos físicos, por ejemplo, lugares muy remotos o inhóspitos, con una mayor precisión [2].

En los últimos años los países que más destacan por su agricultura protegida son China, Israel, España, y Holanda. En nuestro país se está trabajando cada vez más en la agricultura protegida, y esto se puede ver en los avances tecnológicos que se han hecho en estados como Tamaulipas, donde se está produciendo jitomate sobre el terreno semidesértico, en donde anteriormente solo crecían órganos o biznagas, en este proyecto se están utilizando sistemas de transmisión para el constante monitoreo de variables dentro del invernadero [3].

En Baja California Norte, están trabajando en el uso de la energía geotérmica para poder climatizar los invernaderos y mantenerlos a una sola temperatura todo el año, lo cual tendrá las ventajas de que la producción será mayor y los cultivos producirán en menor tiempo, en este sistema están implementando Wireless Sensor Network (WSN) para la toma de lecturas en campo [4].

A nivel Latinoamérica se está trabajando cada vez más en la agricultura de precisión, un ejemplo de ello, es en Ecuador donde se utilizó un WSN, para optimizar el control de un sistema de riego por goteo y el monitoreo de agentes ambientales involucrados en un cultivo de hortalizas bajo invernadero, todo esto con el objetivo de lograr un mejor aprovechamiento del agua en el riego y obtener un sistema de almacenamiento de datos de los parámetros para ser estudiados, y construir una base de datos para realizar la predicción de dichos parámetros en un futuro [5].

En Colombia se encuentran también trabajos de investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bogotá donde se automatizó un sistema de riego por goteo para flores, en donde se empleó un sistema de transmisión RF donde la información es programada por el operario del invernadero o es adquirida por las mediciones de humedad del suelo. El diseño se basa en la adquisición de las señales a través de microcontroladores, las cuales son enviadas vía RF a una estación remota donde se contro-

lan y supervisan los estados de las variables a través de una herramienta computacional [5].

En el lejano país andino de Chile, se desarrolló un sistema de monitoreo para un invernadero agrícola, es cual está ubicado entre las zonas semidesérticas de Arica y Parinacota, este sistema se encuentra conectado a internet y puede visualizar el microclima desde una aplicación en celular. Este sistema ayudo a prevenir el error humano, puesto que las personas ya no eran las encargadas de tomar las decisiones, tanto de los riegos como de abrir y cerrar ventanas, esto ayudo a incrementar una la producción y ahorrar en el gasto de agua [6].

El Arduino (Figura 1) se ha convertido en una herramienta muy poderosa para elaborar códigos ya que al ser una plataforma de código abierto se tiene mucho respaldo en la comunidad virtual, para efecto de este proyecto se utilizó el Arduino Uno ya que es económico y cuenta con las entradas y salidas suficientes para el proyecto [7].



Figura 1. Arduino Uno

En el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán se cuenta con un invernadero que es utilizado para investigaciones de diferentes áreas académicas, sin embargo existe la problemática de que en este invernadero no cuenta con un sistema de monitoreo para las variables de humedad relativa y temperatura, por estas razones se decidió desarrollar un sistema de monitoreo para medir dichas variables físicas que son de suma importancia para el proceso biológico de desarrollo de los cultivos, estas variables son medidas y procesadas por cuatro transmisores que se encuentran dentro del invernadero, posteriormente esos mismos transmisores envían los datos a un dispositivo de mando móvil, donde dichos datos son visualizados en una pantalla LCD, el dispositivo móvil puede tenerse dentro del invernadero o para más comodidad en un edificio (Edificio S, Laboratorio de Electrónica) que se encuentra a más o menos 100 metros de distancia del invernadero. Algunas de las ventajas de este sistema de radiofrecuencia son que es:

- Un sistema portátil.
- Capaz de monitorear el microclima del invernadero en tiempo real.

- Económico, ya que se invirtió alrededor de 3100 pesos mexicanos.

Algunas de las desventajas son que:

- Su distancia de transmisión de señal es corta, no supera el kilómetro de distancia.
- Si el microclima sobrepasa los 50 grados Celsius, el Arduino comienza a fallar.
- Al utilizar sensores relativamente económicos, sus lecturas no son muy exactas.
- Su monitoreo solo es local, no está conectado a internet para ser visualizado en cualquier lugar donde haya este medio.

**MATERIALE Y MÉTODOS**

**Descripción del sistema**

Lo que se propone es crear un sistema como el que se observa en la Figura 2, el cual se compone de un dispositivo maestro (M) y de cuatro transmisores esclavos que se encuentran dentro del invernadero (1, 2, 3 y 4).

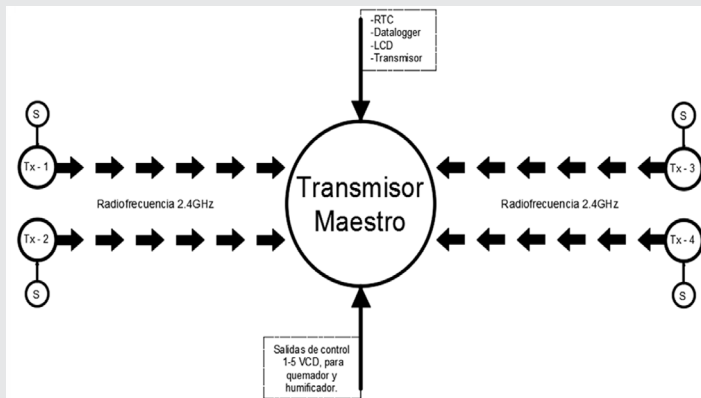


Figura 2. Sistema general.

El nodo maestro es un dispositivo que recibe señales desde el invernadero, es una unidad de adquisición de datos, es el responsable de recopilar las variables del microclima que hay dentro del invernadero (temperatura y humedad relativa) y guardarlos en un datalogger para tener un historial de las condiciones que se tuvieron en el invernadero, las cuales posteriormente sirven para desarrollar análisis del comportamiento del microclima, también cuenta con una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) que muestra las lecturas en tiempo real de los datos recibidos de los transmisores.

Los transmisores esclavos tienen la finalidad de recibir las lecturas de los sensores DHT22 y enviarlas a través de radiofrecuencia al dispositivo maestro.

Las medidas con las que cuenta todo el invernadero son de 17 por 17m, este cuenta con dos naves (Figura 3). La distribución que se le dio a los transmisores se muestra en la Figura 3, con esta distribución se mejora el cálculo para sacar un mejor promedio de la temperatura y de

la humedad relativa, puesto que, entre más sensores, se tiene una lectura más cercana al valor real dentro del invernadero.

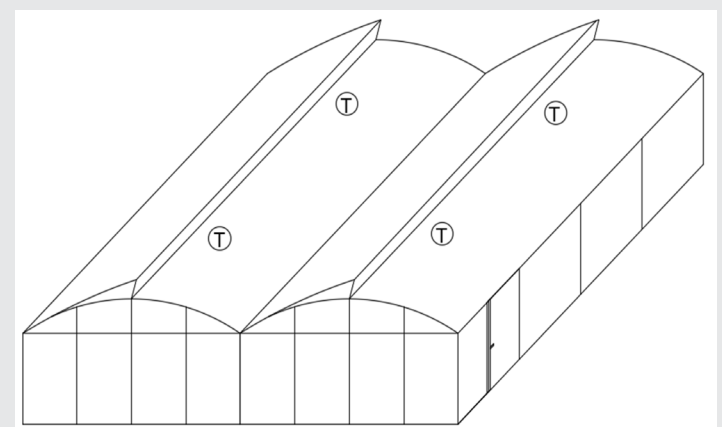


Figura 3. Distribución de los cuatro transmisores dentro del invernadero.

Para este trabajo se seleccionó el sensor DHT22 (Figura 4) de la compañía electrónica Nordic Semiconductor, puesto que contiene en su mismo chip el elemento necesario para medir humedad relativa y temperatura. El rango de medición de temperatura es de 5°C a 90 °C con precisión de ±0.5 °C y el rango de humedad relativa es de 10% a 100% con precisión de ±2.8%, el tiempo entre lecturas es de 2 segundos [8].

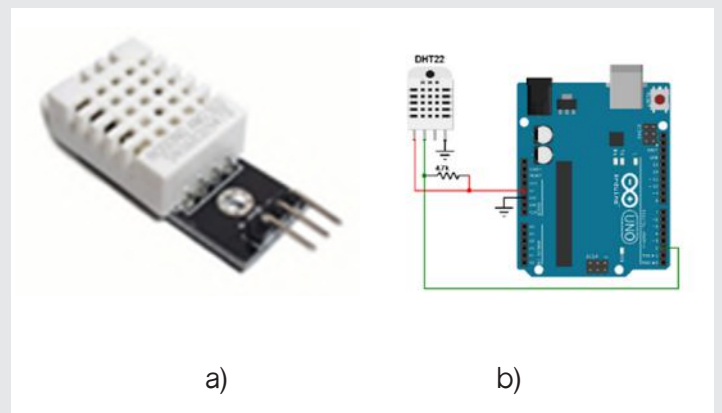


Figura 4. Elementos de medición. Sensor DHT22 a) y conexión del DHT22 con Arduino b).

El transceptor NRF24L01 que se observa en la Figura 5, funciona en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz por lo que no necesita licencias y es libre en todo el mundo, tiene 3 velocidades de transmisión de datos 250 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps. Su consumo energético es ultra bajo y es capaz de durar años utilizando una batería de tipo LiPo.

Para desarrollar esta investigación se distribuyó por el interior del invernadero cuatro transmisores que tienen conectados cuatro sensores DHT22 cada uno (Figura 6), para sumar un total de dieciséis sensores, con los cuales es posible abarcar el área de todo el invernadero y así

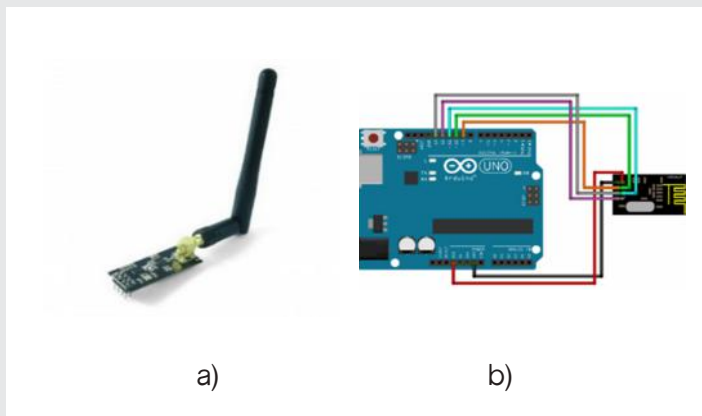


Figura 5. Transceptor NRF24L01. Módulo de larga distancia a) y Conexión transmisor-arduino b).

tener un mejor promedio de lecturas de todo el microclima. Este tipo de arreglo tiene mucha aplicación en invernaderos con grandes extensiones de terreno ya que al utilizar la transmisión por RF y utilizar batería no contamina la estructura metálica con cableado que muchas veces solo estorba.

más independiente ya que el cambio de baterías se hace aproximadamente cada 8 meses, abarcando fácilmente el tiempo de una cosecha.

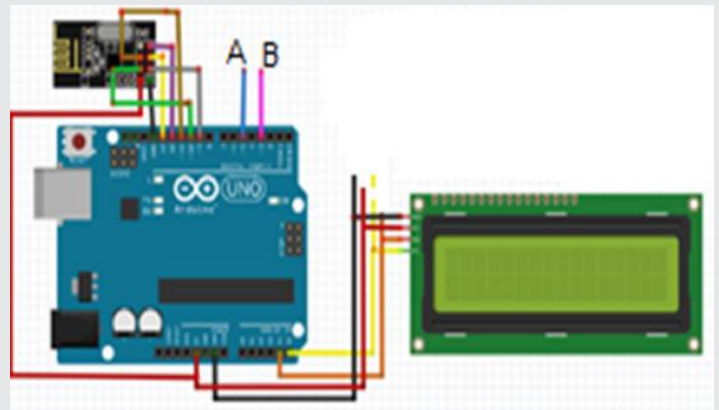


Figura 7. Transmisor maestro.

## RESULTADOS

Para probar el sistema de monitoreo, los equipos se instalaron dentro del invernadero, como se observa en la Figura 8, donde el transmisor se acoplo a un tubo de la estructura metálica (se buscó un lugar estratégico donde la estratificación térmica fuera muy variante) y los sensores se instalaron a una altura de aproximadamente tres metros (Figura 9) casi hasta donde la cortina tiene su límite.

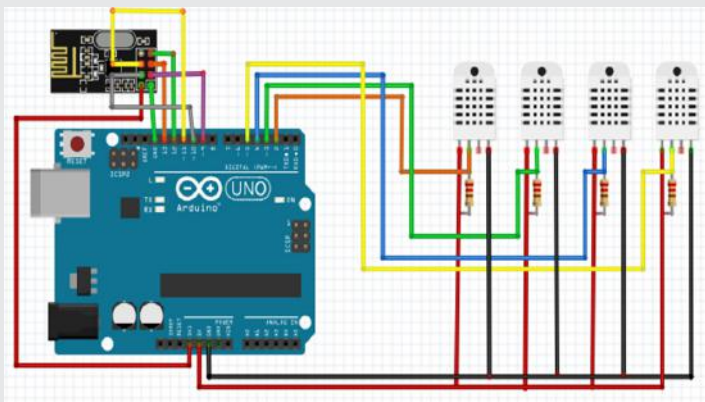


Figura 6. Conexión de sensores DHT22 dentro del invernadero.

El transmisor maestro cuenta con una pantalla LCD la cual hace posible visualizar los datos provenientes de los transmisores, la conexión utilizada se muestra en la Figura 7. También se le configuraron dos salidas (A y B) las cuales variaran entre 1 y 5 volts dependiendo de la temperatura y humedad relativa que haya dentro del invernadero, ese voltaje es medido a un convertidor digital-analógico al cual le salen entre 4-20 mA, utilizado para alimenta una entrada analógica de un PLC el cual controla diferentes actuadores (un Airwet o un quemador depende la hora del día) para modificar la temperatura y humedad relativa del invernadero.

El utilizar la radiofrecuencia hace que el sistema se haga más flexible ya que no se estará manipulando tanto cable dentro del invernadero, otra de las cosas que se adaptó al sistema es que se utilizaron baterías de 3500 mAh para alimentar los transmisores, esto hace al sistema



Figura 8. Transmisor dentro del invernadero.



Figura 9. Sensor DHT22 dentro del invernadero.

Los datos utilizados para efectos de estos resultados, fueron lo que se obtuvieron en un día soleado, con nubes y con un viento que no afectaba mucho a las mediciones de la parte interior del invernadero, cabe mencionar que el invernadero al momento de esta medición tenía las cortinas abiertas, las cuales influyeron directamente en las lecturas, ya que al estar abiertas existen rachas de viento que atraviesan el invernadero y hacen que los valores de humedad relativa y temperatura se comporten similar a las que existen afuera del invernadero.

El datalogger que está constantemente guardando los datos, tiene una memoria de 8 GB, lo que representa aproximadamente 2 años de guardar datos cada 5 minutos. La configuración del datalogger se muestra en la Figura 10, donde se tiene el registro tanto de humedad relativa, temperatura y la fecha.

En la Figura 11, se tiene el comportamiento de la temperatura. Su punto máximo registrado fue alrededor de las 3:05 de la tarde, y su mínimo cerca de la 4 de la mañana. Durante ese día hubo una variación de alrededor de 13 grados Celsius. Si se tuviera un cultivo de arándano (por usar mencionar alguno) no se tuvieron muchos problemas, porque ese cultivo su rango de temperatura va desde los 16 a 25 grados Celsius [10], solo se tendría que utilizar un humidificador para bajar la temperatura.

FECHA	TIEMPO	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA
18/07/2019	00:05:00	18.17 °C	94.12 %
18/07/2019	00:10:00	18.09 °C	94.36 %
18/07/2019	00:15:00	17.76 °C	94.43 %
18/07/2019	00:20:00	17.69 °C	94.49 %
18/07/2019	00:25:00	17.54 °C	94.67 %
18/07/2019	00:30:00	17.49 °C	94.69 %
18/07/2019	00:35:00	17.42 °C	94.78 %
18/07/2019	00:40:00	17.38 °C	94.83 %
18/07/2019	00:45:00	17.22 °C	94.96 %

Figura 10. Lectura guardadas en el datalogger.

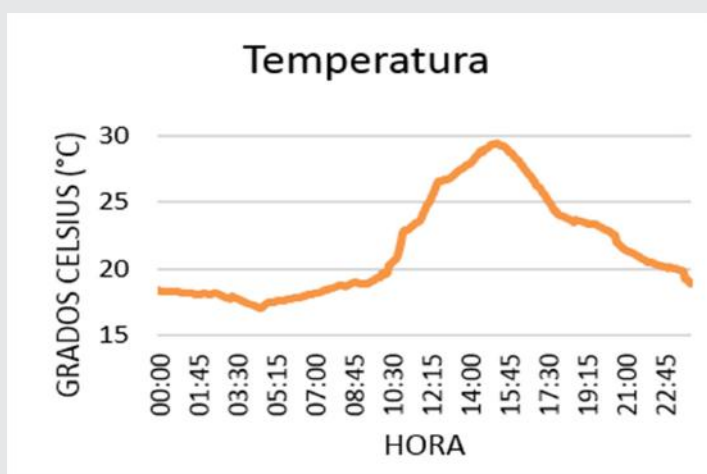


Figura 11. Lecturas de la temperatura.

La humedad relativa se comporta de manera inversa a la temperatura (si se analiza las Figura 13 y la Figura 12 se puede notar ese comportamiento). Esto es, que cuando la humedad relativa está en su punto máximo, la temperatura está en su punto mínimo y de la otra manera cuando la temperatura está en su punto máximo la humedad relativa se encuentra en su punto mínimo, todo esto es por el Déficit de Presión del Vapor (DPV) que no es más que la diferencia (déficit) entre la cantidad de agua en el aire (en forma de vapor) y la cantidad de humedad que puede acomodar cuando está saturado de agua (vapor) [11].

De la Figura 12, lo que más sobresale es su punto máximo en la madrugada, es que a la 4 de la mañana casi llega al 100% de humedad, de igual manera si se tuviera planta de arándano, lo que se recomienda hacer, es instalar un equipo de calefacción para que esa humedad la baje hasta un 75%.

Los dispositivos necesarios para elaborar el sistema de monitoreo, se muestran en la Figura 13. Cabe mencionar que adquirirlos es muy fácil, ya que todos los encuentras en internet (Mercado Libre).

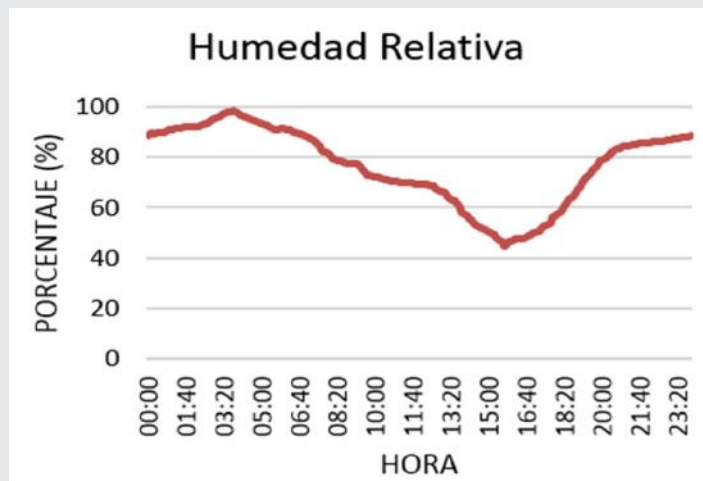


Figura 12. Lecturas de la humedad relativa.

Cantidad	Dispositivos	Costo PU	Total
5	Transmisor NRF24L01	79	395
1	Memoria SD 8GB	90	90
1	Modulo SD	25	25
1	RTC DS3231	149	149
5	Arduino	160	800
1	LCD	68	68
16	Sensor DHT22	95	1520
1	Caja Industrial	274	274
1	Materiales varios	200	200
<b>TOTAL</b>		<b>3126</b>	<b>MXN</b>

Figura 13. Elementos del sistema de monitoreo.

Se hicieron 2 cotizaciones, a empresas que se dedican a ese ramo, ninguna empresa nos autorizó utilizar su nombre y su precio para incluirlas en el presente documento (según por sus políticas), sin embargo, se puede comentar que un sistema de monitoreo en conjunto con un humidificador, ronda los 100 mil pesos mexicanos.

## CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un sistema de radiofrecuencia, el cual se encarga de la supervisión del microclima que presenta el interior del invernadero, donde se miden diferentes variables físicas como: temperatura y humedad relativa. El sistema cumplió con el objetivo que se planteó en un principio.

En un futuro para mejorar este sistema considerablemente (versión 1) solo se le tendrá que adaptar unos sensores que tengan más exactitud y una antena de radio que tenga más alcance.

Y para concluir, basado en los resultados que se obtuvieron, se expone lo siguiente: Los horarios más críticos que se presentan en un invernadero son alrededor de las 3:00 pm cuando la temperatura está en su punto máximo del día y 4:00 am cuando la humedad relativa está en su punto más alto, si un agricultor desea obtener mejores resultados, debe de poner especial atención a estos horarios y poner actuadores que contrarresten estas condiciones climáticas.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Suarez J. y Suarez M. (2014). *Revista Agroinformática. Monitoreo De Variables Ambientales En Invernaderos Usando Tecnología Zigbee*, pp 165-17.

[2] Abad, G. (2016). *Todo Robot. Sensores en robótica*. Recuperado el 10 de Octubre de 2019 de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/GuillermoAbadCarton.pdf>.

[3] Reynaga, J. (2014). *Revista Agro. Producen en desierto con invernaderos en Tamaulipas*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019 de <http://tierrafertil.com.mx/producen-en-desierto-con-invernaderos-en-tamaulipas/>.

[4] Navarro, K. (2018). *Revista CienciaMX. Climatizan invernaderos de pepino y tomate con energía geotérmica*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019 de <http://cienciamx.com/index.php/tecnologia/energia/24825-climatizar-geotermia-cemie-upbc>.

[5] Palacios, J. Ponce, K. Peluffo D. y Negrete, K. (2017). *Diseño de una red de sensores con tecnología 802.15.4 basado en el concepto de agricultura de precisión aplicada a cultivos de hortalizas bajo invernadero: Una prueba piloto*. Recuperado el 12 de Octubre de 2019 de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1456/pdf>.

[6] Agudelo, R. Castellanos, D. y Medina M. (2015) *Automatización del sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación. Disertación trabajo de grado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana*.

[7] Mamani, M. Villalobos, M. y Herrera, R. (2017). *Remote Sensor Monitoring by Radio with Arduino. Estados Unidos: independiente*.

[8] Leithauser D. (2016). *Remote Sensor Monitoring by Radio with Arduino. Estados Unidos: independiente*.

[9] Nordic S. (2004). *Single chip 2.4 GHz Transceiver NRF24L01*. Recuperado el 19 de Mayo de 2019 de [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01\\_prelim\\_prod\\_spec\\_1\\_2.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf).

[10] Infoagro. (2004). *El cultivo del arándano*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_arandano.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp).

[11] Rizo, E. (2010). *Hortalizas. Utiliza el Déficit de Presión del Vapor en invernadero*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de <https://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/invernadero/utiliza-el-deficit-de-presion-del-vapor-en-invernadero/>.



Bioquímica  
*y*  
Biológicos

---

Ingeniantes



# Evaluación de antioxidantes en el cultivo in vitro de especies de bambúes nativos de México

**RESUMEN:** El cultivo in vitro permite propagar y resguardar materiales vegetales. Por lo que el objetivo de este trabajo fue establecer in vitro cinco especies de bambúes nativos (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Otatea acuminata* y *Otatea rzedwoskiorum*), con fines de conservación en condiciones de crecimiento mínimo.

Se emplearon yemas axilares de plantas jóvenes establecidas in vitro. Se utilizaron 3 medios de cultivo: Medio MS (Murashige and Skoog, 1962), + L- cisteína; MS+ carbón activado y MS+ ácido ascórbico. Se evaluó el porcentaje de yemas emergidas y de fenolización debido a que son dos de los problemas más comunes en gramíneas. Para lograr distribución normal en los datos, las variables expresadas en porcentaje se transformaron y se analizaron estadísticamente mediante un ANOVA de clasificación simple.

Para determinar el grado de significación entre las medias se empleó la prueba de Tukey para  $p < 0.05$ . Se observó que existen diferencias significativas entre el medio utilizado y el porcentaje de emergencia y fenolización. Se mostró poca fenolización en el 90% de los explantes utilizando carbón activado como el antioxidante más efectivo.

**PALABRAS CLAVE:** bambú, biotecnología, carbón activado, micropropagación, otate



## Colaboración

Gabriela Orozco Gutiérrez, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Tecomán

**ABSTRACT:** In vitro culture allows propagating and protecting plant materials. Therefore, the objective of this work was to establish in vitro five species of native bamboo (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Otatea acuminata* and *Otatea rzedwoskiorum*), for conservation purposes under minimum growth conditions.

Axillary buds of young plants established in nursery were used. 3 culture media were used: MS Medium (Murashige and Skoog, 1962), + L-cysteine; MS + activated carbon and MS + ascorbic acid. The percentage of buds emerged and phenolization was evaluated because they are two of the most common problems in grasses. To achieve normal distribution in the data, the variables expressed as a percentage were transformed and analyzed statistically using a simple classification ANOVA.

To determine the degree of significance between the means, the Tukey test was used for  $p < 0.05$ . It was observed that there are significant differences between the medium used and the percentage of emergency and phenolization. Little phenolization was shown in 90% of explants using activated carbon as the most effective antioxidant.

**KEYWORDS:** bamboo, biotechnology, activated carbón, micropropagation, otate

## INTRODUCCIÓN

Los bambúes mexicanos representan un legado milenario de gran aporte ecológico, económico y cultural. Un 50% de las especies nativas de bambú merecen estar en la Norma Oficial Mexicana debido a la sobre-explotación de poblaciones silvestres. Los bambúes, se propagan a gran escala con grandes dificultades. El uso de semillas es un reto debido a la floración esporádica de la planta y los largos ciclos de floración, junto con la recalcitración de la semilla y el consumo por parte de animales salvajes [8]. También se ve afectada la poca disponibilidad de material vege-

tal, los bajos porcentajes de enraizamiento y la poca disponibilidad de propágulos [2]. Estos elementos son limitantes para la propagación masiva de bambúes [7].

Además, el estado físico del medio de cultivo es un factor determinante para la propagación in vitro de bambúes. Autores como [10] hacen referencia a la baja proliferación de plantas in vitro de *B. arundinacea* en el medio de cultivo semisólido y atribuyen como causas, la presencia de fenoles que se acumulan en la base de las plantas. Estos mismos autores señalaron que el lento crecimiento de los brotes pudiera atribuirse a las barreras físicas que impone el estado físico semisólido del medio de cultivo.

La fenolización puede estar relacionada con el estado fisiológico del explante esto es, que la edad ontogénica está vinculada a la presencia y acumulación de compuestos fenólicos en el vegetal. Además, la selección de material vegetal adecuado (tejidos con características fisiológicas juveniles apropiadas) puede ser un factor limitante en el bambú ya que en ocasiones presenta una alta fenolización durante los primeros estadios del cultivo in vitro [5].

La biotecnología en sentido general y en el cultivo in vitro en particular pueden ayudar a resolver estos problemas en esta especie. Se debe tener en cuenta que la multiplicación in vitro constituye una alternativa viable para la propagación masiva, uniformes genéticamente y con caracteres morfológicos juveniles recuperados [4]. El bambú, como muchas otras plantas, se ha propagado con el empleo de las técnicas de cultivo in vitro [14] y [1]. Sin embargo, hasta el momento las especies nativas de México no han sido propagadas por este medio. Durante la propagación in vitro a partir de yemas, existen dos problemas cruciales para lograr éxito en este cultivo: 1) la contaminación y 2) la fenolización u oscurecimiento, especialmente cuando se parte de material colectado directamente del campo [11].

En ese contexto, se evaluó el efecto de tres agentes antioxidantes en el control de la fenolización para el cultivo in vitro por medio de yemas axilares, de 5 especies de bambú nativos (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Otatea acuminata* y *Otatea rzedwoskiorum*). La selección de estas especies es debido a su potencial constructivo, impacto social y económico, además de su desconocimiento y conservación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación y colecta

Las yemas axilares de *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua inermis* se obtuvieron del Campo Experimental INIFAP, ubicado en el municipio de Tecomán, Colima y *Otatea acuminata* y *Otatea rzedwoskiorum* de una parcela experimental en el Remudadero municipio de Comala, Colima. El trabajo de investiga-

ción se realizó en el laboratorio de biotecnología de plantas del mismo instituto.

### Desinfección de yemas

Para la desinfección de yemas, éstas fueron tratadas previamente y en condiciones de campo con agente antifúngico benomilo<sup>®</sup> (2 g/L) y bactericida estreptomina<sup>®</sup> (2 g/L) tres veces a la semana durante 1 mes para evitar hongos y/o bacterias. Se seleccionaron yemas axilares de bambú de aproximadamente de 3 cm de largo, las cuales fueron lavadas con agua corriente y jabón líquido, el tratamiento de pre desinfección incluyó solución alcalina de Extran<sup>®</sup> MA 01 (0.05 % v/v) por 10 min y agente antifúngico y bactericida estreptomina a 2 g/L c/u por 10 min.

Posteriormente se llevaron a cabo los tratamientos de desinfección con NaOCl (3 % v/v) por 10 min, finalmente en campana de flujo laminar los explantes fueron lavados con agua destilada estéril 3 veces.

### Medios de cultivo

La composición del medio de cultivo utilizado fue [9] adicionado con 30 g/L de sacarosa. Al medio se le adicionó un biocida llamado "Plant Preservative Mixture" (PPM<sup>®</sup>) (5 mL/L), el pH fue ajustado a 5.7 ya que es un pH ideal para la mayoría de las especies de bambú y solidificado con 2 g/L de gelrite. El medio nutritivo se distribuyó en tubos de ensayo de 60 mL conteniendo 5 mL de medio nutritivo, estos se esterilizaron en autoclave por 15 min a una presión de 16 lb/pulg<sup>2</sup> y a temperatura de 121 °C. Al finalizar se aisló la yema apical para su implantación en el medio. Los explantes fueron incubados en oscuridad a 28 °C durante dos semanas, finalmente fueron incubados con un fotoperiodo de luz natural para su desarrollo (Figura 1).



Figura 1. *Guadua inermis* establecida in vitro

**Agentes antioxidantes**

La inoculación de las yemas apicales se realizó en el medio MS suplementado antes mencionado. Se realizó una solución estéril de los antioxidantes, posteriormente se utilizó:

- 1) L-cisteína a 20 mg·L<sup>-1</sup>,
- 2) carbón activado a 3 g·L<sup>-1</sup> y ácido ascórbico (120 mg·L<sup>-1</sup>) teniendo en cuenta que son los antioxidantes y las concentraciones más empleadas en este cultivo [15] y [12]. Se implantaron un total de 30 yemas por tratamiento, incluyendo el control.

**Evaluación de fenolización, contaminación y supervivencia.**

Las evaluaciones se realizaron a las 72 h de iniciado el cultivo y se analizó el porcentaje de contaminación y supervivencia de las yemas. Para evaluar el nivel de fenolización, se utilizó una escala cualitativa debido a pruebas de tolerancia, se les clasificó como: poco fenolizado (10-40 % del explante está fenolizado), medianamente fenolizado (40-70 % del explante esta fenolizado y tiene presencia de un halo de color parduzco en el medio alrededor del explante) y altamente fenolizado para aquellos explantes donde el 100 % fenolizado o necrosado y además se observó un halo de color negruzco muy intenso en el medio) método sugerido por [3]. Con esta escala se calculó el porcentaje de explantes pertenecientes a cada categoría en cada uno de los tratamiento. La contaminación fue evaluada por presencia o ausencia de microorganismos y obteniendo el porcentaje promedio. Y la supervivencia, de igual forma, fue evaluada contabilizando brotes vivos o muertos.

**Análisis estadístico**

El procesamiento de los datos y el análisis estadístico se realizó con el software SPSS® versión 8.0 para Windows®, realizando un Análisis de Varianza (ANOVA) y de la prueba de Tukey para determinar el nivel de significación estadística de las diferencias entre las medias de cada ensayo. Para lograr distribución normal en los datos, las variables que se encontraban expresadas en porcentaje se transformaron para su análisis según la ecuación:  $x' = 2 \cdot \arcsen((x/100)^{0.5})$ . Para las variables discretas se utilizó la ecuación:  $x' = (x + 0.5)^{0.5}$ .

**RESULTADOS**

**Agentes antioxidantes**

Todas las yemas en los tres tratamientos manifestaron síntomas de fenolización, pero no en la misma intensidad. En la Figura 2, se puede apreciar el resultado cualitativo de los antioxidantes por especie. Las yemas con ácido ascórbico reflejaron los mayores porcentajes de explantes con un alta fenolización (95%), el cual es significativamente diferente al resto de los tratamientos demostrando la ineficiencia de este compuesto antioxidante en el control de la fenolización en las yemas de bambú. En el caso del efecto entre especies, no existen diferencias significativas.

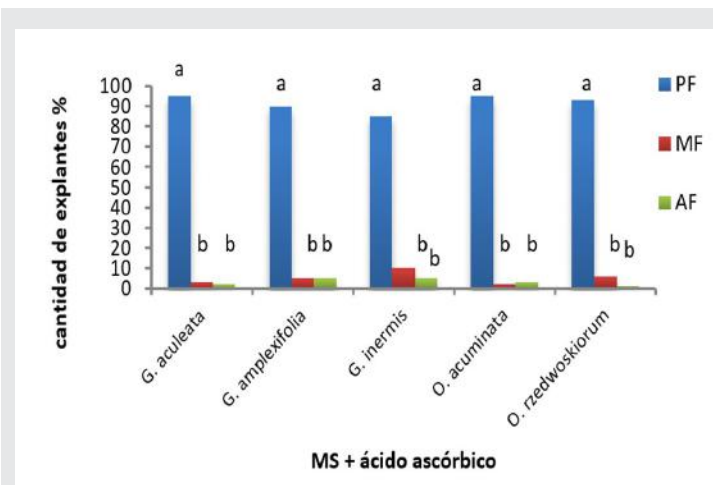


Figura 2. Efecto del antioxidante ácido ascórbico en el nivel de fenolización de yemas (explantes) de luego de 72 horas de cultivo in vitro de bambú: *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Otatea acuminata* y *Otatea rzedwoskiorum*. PF: Poca fenolización, MF: Mediana fenolización y AF: Alta fenolización. Barras con letras iguales, las medias no difieren significativamente según ANOVA y prueba de Tukey, para  $p < 0.05$  y  $n = 30$ .

Para las yemas expuestas a MS + L-cisteína, se clasificaron el 54 % de los explantes con un alto nivel de fenolización, mientras que solo el 30% poseía un nivel medio y un 16% bajo (Figura 3).

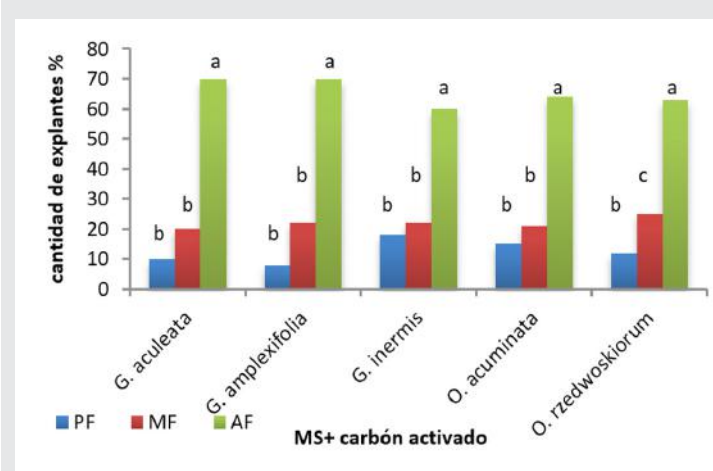


Figura 3. Efecto del antioxidante L- cisteína en el nivel de fenolización de yemas (explantes) de bambú: *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Otatea acuminata* y *Otatea rzedwoskiorum* luego de 72 horas de cultivo in vitro. PF: Poca fenolización, MF: Mediana fenolización y AF: Alta fenolización. Barras con letras iguales, las medias no difieren significativamente según ANOVA y prueba de Tukey, para  $p < 0.05$  y  $n = 30$

Los niveles más bajos de fenolización se obtuvieron con la utilización del carbón activado, el cual propició una clasificación más heterogénea de los explantes, con 80 % de poco fenolizados, 20 % medianamente fenolizados y 10% altamente fenolizados con diferencias

significativas con el resto de los tratamientos en ambas categorías (Figura 4). De igual forma no existen diferencias significativas entre especies.

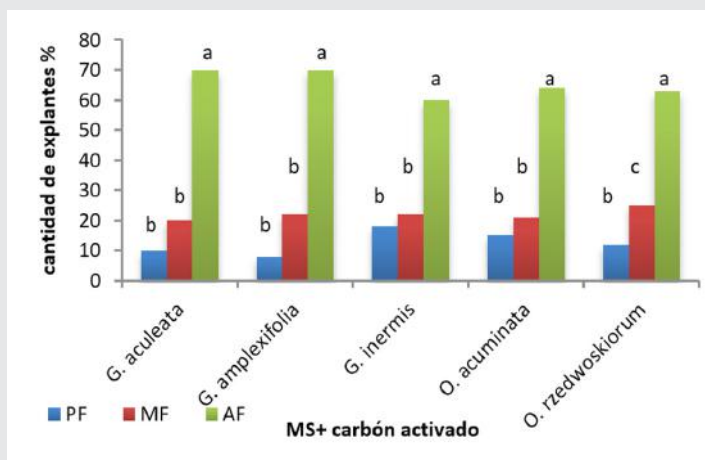


Figura 4. Efecto del antioxidante carbón activado en el nivel de fenolización de yemas (explantes) de *Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia*, *Guadua inermis*, *Oatea acuminata* y *Oatea rzedowskiorum* luego de 72 horas de cultivo in vitro. Barras con letras iguales, las medias no difieren significativamente según ANOVA y prueba de Tukey, para  $p < 0.05$  y  $n = 30$

El carbón activado fue el antioxidante más apropiado en la reducción de compuestos fenólicos de bambú, a diferencia de la L- cisteína y el ácido ascórbico, los cuales resultaron en una respuesta muy pobre. La fenolización se caracterizó por un cambio en la coloración del tejido vegetal y la emisión de estos pigmentos rojizos o carmelitas hacia el medio de cultivo. Estos se tornaron muy intensos hasta alcanzar un color vino-oscuro, especialmente para el tratamiento con el ácido ascórbico provocando la muerte de los explantes.

Entre las causas que provocan este estado se encuentra el daño que se produce en la superficie del explante después de realizado un corte o herida, y en otros casos, la senescencia o muerte de algunas células [5]. Se asegura que la biosíntesis de compuestos fenólicos es afectada por situaciones de estrés, tales como heridas o ataques de patógenos [13].

## CONCLUSIONES

Se reconoce al carbón activado de coco 3 g/L como el antioxidante más adecuado para emplear en el cultivo de tejidos in vitro de yemas de bambúes nativos, aunque sería posible posteriormente probar algún otro tipo de carbón activado. Para los explantes de bambú de las cinco especies la fenolización resultó ser perjudicial, pues provocó la muerte de los mismos. Por ello, se reconoce al carbón activado como el antioxidante más adecuado para emplear en el cultivo de tejidos in vitro de yemas de bambú. Por otro lado, no se muestran diferencias significativas entre especies. La fenolización

como buen fenómeno de tipo bioquímico interfiere con el normal desarrollo de los explantes inoculados en los medios de cultivo, el explante presenta un oscurecimiento en su totalidad y alrededores del medio donde se encuentra sembrado, debido a la excreción de sustancias como polifenoles y taninos que en la etapa de adaptación in vitro crean oxidación por lo que una reducción o eliminación de este fenómeno es de gran utilidad en el cultivo in vitro de bambú. Finalmente se pretende continuar cultivando bambú nativo in vitro para multiplicar, enraizar y aclimatar en campo.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto INIFAP: "Viabilidad y factibilidad en la propagación, conservación, establecimiento y manejo sostenible de cinco especies nativas de bambú leñoso en la región Pacífico- Centro de México"

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Anand., J. Brar., y A. Sood. (2013). *In vitro propagation of an edible bamboo Bambusa bambos and assessment of clonal delity through molecular markers. Journal of Medical and Bioengineering*, 2,257-261.
- [2] L. Cátasus. (2003). *Estudio de los bambúes arborescentes cultivados en Cuba. ACTAF. Cuba*
- [3] O. Concepción., N. Lelurlys., H. Pérez., M. Peralta y R. Trujillo. (2005). *Efecto de tres antioxidantes en el cultivo in vitro de ápices de guayaba (Psidium guajava L.). relación entre el origen del explante y el contenido de compuestos fenólicos. Cultivos Tropicales*. 26(1)
- [4] M. Domínguez., J. González., G.C. Rosales., V.C. Quiñonez., S. Delgadillo Mireles., M. E. Pérez. (2008). *El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género Agave. Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. ISSN-e 1665-4412, 53 p.*
- [5] E.F. George. (1993). *Plant propagation by tissue culture. Exegetics Ltd 524 p.*
- [6] K. Koshy., y B. Gopakumar. (2005). *An improvised vegetative propagation technique for self-incompatible bamboos. Current Science*, 89: 1474-1476.
- [7] Koshy, K. y Harikumar, D. (2000). *Flowering incidences and breeding system in Bambusa vulgaris. Current Science*, 79: 1650-1652.
- [8] T. Murashige., y F. A. Skoog. (1962). *Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum*, 15:473-497.

[9] R. Nadgauda., V. Parassharami., y A. Mascarenhas, (1990). Precocious flowering and seedling behaviour in tissue cultured bamboos. *Nature*, 344:335-336.

[10] M. Ramírez., S. León., y A. Urdaneta. (1999). Evaluación de desinfectantes superficiales en el establecimiento *in vitro* de *Psidium guajava* L. y *Psidium friedrichsthalianum* (Berg) Nierdz. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 16: 243-25.

[11] S. Saxena., y V. Dhawan. (1999). Regeneration and large-scale propagation of bamboo (*Dendrocalamus strictus* Nees) through somatic embryogenesis. *Plant Cell Rep* 18:438-443.

[12] D. Treutter. (2001). Biosynthesis of phenolic compounds and its regulation in apple. *Plant Growth Regulation*, 34:71-89.

[13] Q. Wei., J. Cao., W. Qian, M. Xu., Z. Li., y Y. Ding. (2015). Establishment of ancient micropropagation and callus regeneration system from the axillary buds of *Bambusa ventricosa*. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 122:1-8.

[14] A.B. Zamora., S.S Gruezo y O.P. Damasco. (1988). Tissue culture of *Dendrocalamus*, *Bambusa*, *Gigantochloa*, and *Schizostachyum* species of bamboo. *Journal Philippines Forest Resources*, 13:55-6.



Bioquímica  
*y*  
Biológicos

---

Ingeniantes

# Análisis de la actividad enzimática de peroxidadasas en maíces nativos de Oaxaca infectados por *Aspergillus parasiticus*

**RESUMEN:** El maíz es el cereal de mayor consumo en México y durante su crecimiento está expuesto a diferentes condiciones como cambios de temperatura, humedad, salinidad o ataque de patógenos, generando pérdidas económicas y daños a la salud de los consumidores. Las peroxidadasas son enzimas de respuesta en plantas cuando son sometidas a estrés por factores físicos, químicos o biológicos. En el presente estudio se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de enzimas peroxidadasas en coleoptilos y raíces de cinco muestras de maíces nativos de Oaxaca infectados con *Aspergillus parasiticus*. Se realizó la extracción de proteínas totales utilizando un buffer con tris-HCl,  $\beta$ -mercaptoetanol y NaCl; la cuantificación de proteínas se realizó mediante la técnica de Bradford y la actividad peroxidada se determinó mediante el ensayo dependiente de DTT.

En las pruebas realizadas, en tres de las cinco muestras, hubo una disminución en la concentración de proteínas totales tanto en coleoptilo de maíz como en raíz y en el ensayo de actividad peroxidada, la actividad enzimática fue mayor en cuatro de las cinco muestras en coleóptilos y raíces de maíces infectados con *A. parasiticus*, obteniendo una respuesta de estas enzimas en maíz ante la infección por *Aspergillus*.

**PALABRAS CLAVE:** Enzimas, peroxidadasas, *Aspergillus parasiticus*, Bradford, DTT.



## Colaboración

Carlos Francisco Varapizuela Sánchez; Marco Antonio Sánchez Medina; Alma Dolores Pérez Santiago, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca

**ABSTRACT:** Maize is the cereal with the highest consumption in Mexico and during its growth it is exposed to different conditions such as changes in temperature, humidity, salinity or attack of pathogens, generating economic losses and damage to the health of consumers. Peroxidases are response enzymes in plants when they are subjected to stress by physical, chemical or biological factors. The present study shows the results obtained from the evaluation of peroxidase enzymes in coleoptils and roots of five samples of native maize from Oaxaca infected with *Aspergillus parasiticus*. Total protein extraction was performed using a buffer with tris-HCl,  $\beta$ -mercaptoethanol and NaCl; Protein quantification was performed using the Bradford technique and peroxidase activity was determined by DTT-dependent assay.

In the tests carried out, in three of the five samples, there was a decrease in the concentration of total proteins in both corn and root coleoptile and in the peroxidase activity test, the enzymatic activity was higher in four of the five samples in coleoptiles and maize roots infected with *A. parasiticus*, obtaining a response of these enzymes in maize to *Aspergillus* infection.

**KEYWORDS:** Enzymes, peroxidases, *Aspergillus parasiticus*, Bradford, DTT.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es el principal producto agrícola de México, en el país, a la fecha se conocen 64 razas, denominadas "razas criollas o nativas", que son resultado de la manipulación tradicional de los campesinos y de la variabilidad ambiental presente en los numerosos nichos ecológicos en que se cultivan, lo que contribuye a la conservación y a la generación de la diversidad genética del cultivo, llegando a formarse nuevos tipos, variedades o razas [1,2].

Debido a la situación geográfica en que se ubica, Oaxaca posee una alta variación genética en el cultivo del maíz, alta variación climática, topografía variada, diferentes tipos de suelos, facilidad de entrecruzamiento de esta especie y principalmente al gran número de grupos étnicos que han formado diferentes variedades nativas mediante selección a través de miles de años [3]. La diversidad de maíz localizada en el estado (35 razas) representa el 55 % de la diversidad reportada para México. En Oaxaca el maíz tiene una diversidad de colores de grano, predominando el color blanco con el 62.9% de las muestras, le sigue el amarillo con el 20.1%, el azul con 7%, negro con 3.4%, naranja con 2% y rojo con 1.4%; además, existe un 2.75% de colectas que no tienen reportes [4]. El maíz durante su crecimiento y en almacenamiento está expuesto a ser contaminado por hongos, principalmente *Aspergillus parasiticus* y *A. flavus*, que bajo condiciones óptimas de crecimiento producen aflatoxinas, siendo la aflatoxina B1 el carcinógeno natural más potente conocido en la actualidad [5,6]. Estudios para comprender el mecanismo de resistencia de maíz contra la infección por *A. flavus* y la contaminación por aflatoxinas indican que las proteínas son el factor que mayormente contribuye a la resistencia [7,8]. La resistencia del grano podría deberse no solo a la presencia de altos niveles de proteínas antifúngicas, sino también a altos niveles de proteínas relacionadas al estrés y proteínas de almacenamiento que captan agua con facilidad [9]. Las peroxidasa catalizan la reducción de peróxidos tóxicos para la célula haciéndolo inofensivo, reduciéndolo y haciéndolo inofensivo cuando las plantas están en condiciones normales y bajo estrés [10, 11]. A la fecha, no hay trabajos que evalúen la actividad de estas enzimas en maíces oaxaqueños, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad enzimática de peroxidasa en maíces nativos de Oaxaca en diferentes etapas de crecimiento de la planta, con la finalidad de conocer el comportamiento de estas enzimas de respuesta al estrés ante la infección por *Aspergillus parasiticus* [12].

## MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Alimentos del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Oaxaca ubicado en la Avenida Ing. Vico Bravo Ahuja No. 125, esquina Calzada Tecnológico, en Oaxaca de Juárez, Oaxaca.

### Cepa de *Aspergillus parasiticus*.

Para los ensayos con *A. parasiticus* se utilizó la cepa ATCC 16992 donada por la Dra. Doralinda Guzmán Ortiz, jefa del laboratorio de micotoxinas del CINVESTAV Unidad Irapuato. En condiciones de esterilidad, se inocularon por plaqueo 0.1 ml de una solución concentrada de esporas de  $5 \times 10^7$  esporas/ml en placas con medio PDA (agar papa-dextrosa) y se incubaron durante 7 días a  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  en una incubadora INDELAB IDL-CD-80. Se recuperaron las esporas en agua con tritón al 0.01% y se almacenaron a  $5^\circ\text{C}$  hasta su utilización.

### Obtención de coleoptilos y raíces de maíz.

Se utilizaron cinco muestras de maíz (numeradas del 1 al 5) de tres razas diferentes: dos de raza vandeño (muestras 1 y 4), dos de raza arrocillo (2 y 3) y una de raza elote cónico (5) (Tabla 1). Para la obtención de coleoptilos y raíces se desinfectaron 30 semillas de cada muestra en alcohol etílico al 70% durante 10 minutos y se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril. En condiciones de esterilidad, se colocaron 5 granos de cada muestra en una caja Petri con una cama de algodón y papel filtro humedecidos. Tres placas se utilizaron como controles sanos y tres más se inocularon con 50  $\mu\text{l}$  de una suspensión de esporas de *A. parasiticus* a cada grano. Las placas se incubaron a  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  durante siete días.

Tabla 1. Muestras de maíces nativos de Oaxaca.

Número de muestra	Raza	Color	Lugar de procedencia
1	Vandeño	Amarillo	Santa Cruz Mixtepec
2	Arrocillo	Morado	Zimatlán de Álvarez
3	Arrocillo	Blanco	San Antonio Huitepec
4	Vandeño	Naranja	Tlahuitoltepec
5	Elote cónico	Rojo	San Antonio Huitepec

### Extracción y cuantificación de proteínas.

La extracción de proteínas se realizó por maceración utilizando el buffer de extracción [9] con una relación 1:1 (p/v) y centrifugando las muestras a 12000 rpm durante 15 minutos. Los sobrenadantes obtenidos se cuantificaron por triplicado mediante la técnica de Bradford utilizando una curva estándar de BSA (Albúmina de suero bovino) (Figura 1), la ecuación de regresión lineal fue:  $y = 0.0043x + 0.0198$  con un coeficiente de correlación de 0.9903, por tanto, la ecuación indicó una alta relación entre las variables. Los extractos fueron almacenados a  $-20^\circ\text{C}$  en un congelador FRIGIDAIRE hasta su utilización.

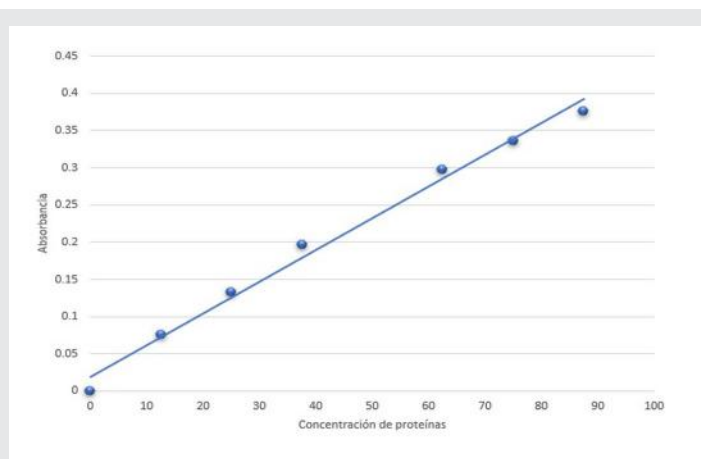


Figura 1. Curva estándar de proteínas utilizando BSA.



**Ensayo de actividad enzimática de peroxidadas.**

El ensayo se basó en la capacidad que tienen las peroxidadas de utilizar al DTT como donador de electrones y poder reducir hidropéroxidos, utilizando la técnica reportada por [13] con algunas modificaciones. Se inició el ensayo con una mezcla de pre incubación a 37 °C durante 10 minutos que contenía en un volumen de 600 µl, 50 µM de tris-HCl pH 8.0, 4 mM de DTT y 200 µg de extracto de proteínas de cada muestra (coleoptilo y raíz). Posteriormente se añadieron 600 µl de una solución de 100 µM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y se incubó la reacción 10 minutos a 37 °C. El precipitado de proteínas se eliminó mediante centrifugación de 3 minutos a 500 rpm y se añadió a la reacción 400 µl de sulfato ferroso amónico 10 mM y 200 µl de tiocianato de potasio 2.5 M, los cuales reaccionan con el hidropéroxido remanente y forman un complejo color púrpura. La concentración de peróxido se determinó espectrofotométricamente a 480 nm en un equipo SPECTRONIC 20D utilizando una curva estándar de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**RESULTADOS**

**Aspergillus parasiticus.**

A. parasiticus en medio PDA de 7 días de incubación a 28 ± 2°C, tuvo un crecimiento abundante, de color verde oscuro y de tipo algodónoso [12] (Figura 2).



Figura 2. Crecimiento de *Aspergillus parasiticus* en medio PDA de 7 días de incubación a 28 ± 2°C.

**Obtención de las muestras de coleoptilo y raíz.**

Los coleoptilos de maíz de 7 días de incubación a 28 ± 2°C en las muestras sin hongo, presentaron un crecimiento regular, con coleoptilos de color amarillo y en algunas partes hialinos (Figura 3a). En las muestras infectadas con A. parasiticus, el crecimiento fue menor, además de que presentaron partes enfermas de color café a negro y crecimiento del hongo sobre los granos de maíz (Figura 4b).



(a) Coleoptilo sano

(b) Coleoptilo infectado

Figura 3. Coleoptilos de maíz sanos e infectados con *Aspergillus parasiticus*.

**Cuantificación de proteínas totales.**

Se realizó la cuantificación de proteínas totales de las muestras de maíz (Tabla 2). Las muestras 1, 2 y 4 disminuyen su concentración de proteínas totales en coleoptilos infectados, a diferencia de las muestras sanas y sin presencia del hongo.

Tabla 2. Concentración de proteínas totales en coleoptilos de maíz.

Concentración de proteínas mg/ml		
Muestra	Sano	Infectado
1	5.23	5.06
2	6.08	4.50
3	4.64	5.48
4	4.69	2.44
5	4.88	5.17

En los resultados de la cuantificación de proteínas totales en raíces de maíz (Tabla 3), las muestras 1, 2 y 4 presentaron menor concentración de proteínas en raíces en presencia de *Aspergillus*, a diferencia de las muestras 3 y 5, teniendo el mismo comportamiento que las muestras de coleoptilo de maíz, donde estas mismas muestras disminuyeron su concentración de proteínas en presencia del hongo.

Tabla 3. Concentración de proteínas totales en raíces de maíz.

Concentración de proteínas mg/ml		
Muestra	Sano	Infectado
1	4.79	4.39
2	4.00	3.20
3	4.96	5.50
4	4.26	3.12
5	3.98	4.43

**Actividad peroxidasa en coleoptilos y raíces de maíz.**

Se analizó la capacidad destoxicadora de los extractos de proteínas de coleoptilo y de raíz de maíz hacia el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. En cuanto a la actividad enzimática en coleoptilos de maíz, tres de las cinco muestras presentaron mayor actividad peroxidasa en coleoptilos de maíz infectados con A. parasiticus, las cuales fueron las mues-

tras 3, 4 y 5, sin embargo, solo en las muestras 3 y 5 la diferencia fue significativa. La muestra 1 presentó mayor actividad en el coleoptilo sano, pero no hubo diferencia significativa con el coleoptilo infectado, mientras que la muestra 2 tuvo valores de reducción de hidróperóxido muy bajos en comparación con las demás muestras (Figura 4).

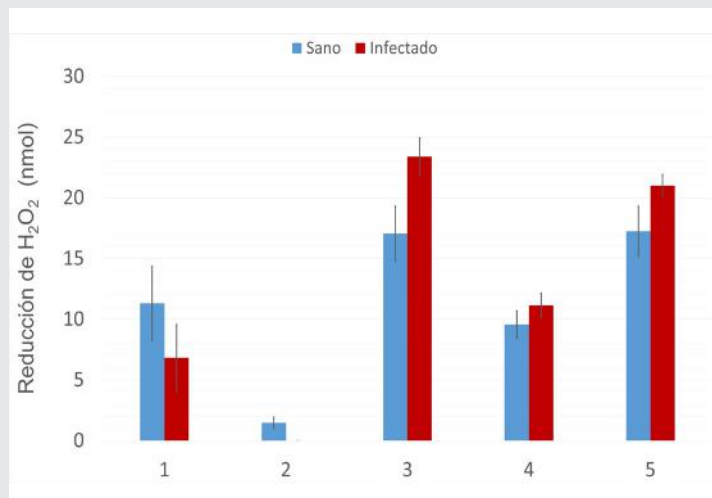


Figura 4. Reducción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en muestras de coleoptilos de maíz sanos e infectados con *Aspergillus parasiticus*.

En el análisis enzimático de los extractos de raíz, las cinco muestras presentaron una diferencia significativa mayor en la actividad peroxidasa en las raíces infectadas con *A. parasiticus* a diferencia de los controles sanos, superando al menos tres muestras los niveles de reducción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de las muestras de coleoptilo maíz (Figura 5).

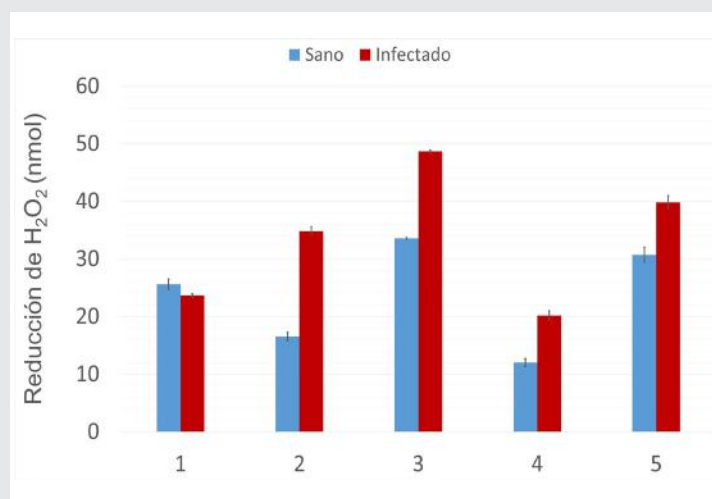


Figura 5. Reducción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en muestras de raíces sanas e infectadas con *Aspergillus parasiticus*.

Tanto los extractos de coleóptilo de maíz como de raíz, presentaron una alta variabilidad de los resultados de la actividad enzimática de peroxidasa. Las muestras 3, 4 y 5, presentaron mayor actividad enzimática tanto en coleóptilo como en raíz, a diferencia de las muestras

1 y 2, esto puede deberse al lugar de procedencia de las muestras, ya que provienen de diferentes regiones geográficas del estado, propiciando que los mecanismos de respuesta sean distintos en cada caso.

## CONCLUSIONES

Se evaluó la capacidad de enzimas peroxidasa en coleoptilos y raíces de maíces nativos de Oaxaca como respuesta a la infección por *Aspergillus parasiticus*. En tres de las cinco muestras, tanto en coleoptilos como en raíz, se mostró una disminución en la concentración de proteínas totales en maíces infectados con el hongo.

En el análisis de actividad peroxidasa, tres muestras de coleoptilo de maíz, tuvieron mayor actividad enzimática en las muestras infectadas que en las muestras sanas, y en muestras de raíz, cuatro aumentaron su actividad de peroxidasa en raíces infectadas con el hongo, obteniendo mayor reducción de peróxidos que los extractos de coleoptilos de maíz, obteniendo una respuesta de estas enzimas al estrés generado por *A. parasiticus* en esa etapa de crecimiento de la planta.

Este trabajo sienta las bases para continuar realizando la búsqueda de la expresión de proteínas de respuesta al estrés bajo condiciones bióticas y abióticas en maíces nativos de Oaxaca, con la finalidad de identificar razas de maíz que se adapten mejor a condiciones adversas de crecimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. De la Torre, D. A. P. (2016). *Estas son las 64 razas de maíz en México*. Obtenida el 16 de mayo del 2016 de la página electrónica: <https://masdemx.com/2016/05/estas-son-las-64-razas-de-maiz-en-mexico/>
- [2]. Romero, P., A., Hernández, J., M., León M., A., Sangermán-Jarquín D. Ma. (2015). Impacto en el mercado mexicano de maíz en ausencia de políticas de producción de biocombustibles en Estados Unidos de América. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5), 1023-1033.
- [3]. Massieu, T. Y., & Lechuga, M. J. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Revista Análisis Económico*. 17(36), 281-303.
- [4]. Aragón-Cuevas F. (2006). *Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CS002 México D. F.
- [5]. Martínez, P., H., Y., Hernández, D., S., Reyes, M., C., A., Vázquez, C., G. (2013). *El género Aspergillus y sus micotoxinas en maíz en México: Problemática y Perspectivas*.

[6]. Fouad, A., M., Ruan, D., El-Senousey, H., K., Chen, W., Jiang, S., Zheng, C. (2019). Harmful Effects and Control Strategies of Aflatoxin B1 Produced by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* Strains on Poultry: Review. *Toxins*. 11(176). doi:10.3390/toxins11030176

[7]. Brown, R., L., Chen, Z., Y., Warburton, M., Luo, M., Menkir, A., Fakhoury, A., Bhatnagar, D. (2010). Discovery and Characterization of Proteins Associated with Aflatoxin-Resistance: Evaluating Their Potential as Breeding Markers. *Toxinas*. 2, 919-933. doi:10.3390/toxins2040919

[8]. Chen, Z., Y., Brown, R., L., Damann, K., E., Cleveland, T., E. (2004). Identification of a Maize Kernel Stress-Related Protein and Its Effect on Aflatoxin Accumulation. *Phytopathology*. 94(9), 938-945.

[9]. Chen, Z., Y., Brown, R., L., Damann, K., E., Cleveland, T., E. (2007). Identification of Maize Kernel Endosperm Proteins Associated with Resistance to Aflatoxin Contamination by *Aspergillus flavus*. *Phytopathology*. 97(9), 1094-1103. doi:10.1094 / PHYTO-97-9-1094

[10]. Bania, I. & Mahanta, R. (2012). Evaluation of peroxidases from various plant sources. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2(5).

[11]. Padmarajaiah, N., Anantharaman, S., Ashwinee, K., S. (2009) Development and Evaluation of Kinetic Spectrophotometric Assays for Horseradish Peroxidase by Catalytic Coupling of Paraphenylenediamine and Mequinol. *Analytical Sciences*. 25, 1243-1248.

[12]. Kamal, A., J., K., & Beher, D., V. (2002) Thermal and conformational stability of seed coat soybean peroxidase. *Biochemistry*. 41, 9034-9042.

[13]. Barranco, M., S. (2006). Caracterización bioquímica y molecular de una peroxirredoxina mitocondrial de *Pisum sativum*. Tesis de doctorado. Universidad de Granada. Departamento de bioquímica y biología molecular. CSIC. UNAM. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num12/art53/>



Bioquímica  
*y*  
Biológicos

---

Ingeniantes

# Efecto de hongos formadores de Micorriza arbuscular (hma) con fertilización en caña de azúcar, en Tepalcatepec Michoacán



## Colaboración

Del Val Díaz Ramón, Unidad de Servicios Biotecnológicos (USB) Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 70, Valencia Maldonado Julissa Gómez Leyva Juan Florencio, Instituto Tecnológico de Tlajomulco de Zúñiga, Gómez Sánchez Luis Enrique; Preciado Sánchez Víctor Manuel, Instituto Tecnológico Superior de Coalcomán

**RESUMEN:** El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de HMA en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en diferentes dosis de fertilización en el valle de Tepalcatepec Michoacán, México.

Se realizó inoculación con cepas de HMA, en 6 tratamientos, con diferentes niveles de fertilización, los cuales variaron desde el testigo (T1) sin fertilizantes, hasta el de máxima fertilización (T6) con 2500 kg Kg/Ha de mezcla de fertilizante, que consistió en un 30% de sulfato de amonio y 70% de urea, se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), diámetro de planta (DP), concentración de azúcares (CA), producción de biomasa (PB), los resultados fueron analizados con pruebas de Duncan con análisis de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con  $p = 0.5$  en el sistema de análisis estadístico [1]. Se determinó diferencia significativa con la aplicación de HMA en las variables evaluadas.

**PALABRAS CLAVE:** HMA, biofertilizantes, caña, biotecnología, micorriza.

**ABSTRACT:** The objective of the present work was to determine the effect of AMF in sugarcane (*Saccharum officinarum*) in different doses of fertilization in the Tepalcatepec Michoacán Valley, Mexico.

Inoculation with HMA strains was performed in 6 treatments, with different levels of fertilization, which varied from the control (T1) without fertilizers, to the maximum fertilization (T6) with 2500 kg Kg / Ha of fertilizer mixture, which it consisted of 30% ammonium sulfate and 70% urea, a randomized block design with four repetitions was used, the variables evaluated were plant height (AP), plant diameter (DP), sugar concentration (CA), biomass production (PB), the results were analyzed with Duncan tests with Minimal Significant Difference (DMS) analysis with  $p = 0.5$  in the statistical analysis system [1]. Significant difference was determined with the application of AMF in the evaluated variables.

**KEYWORDS:** HMA, biofertilizers, rod, biotechnology, mycorrhizal.

## INTRODUCCIÓN

La producción de caña de azúcar es de gran importancia en el mundo y se cultiva en más de 130 países en una superficie de 25.4 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 80 t ha<sup>-1</sup> [2].

El cultivo de caña de azúcar en México presenta un gran potencial para poderse consolidar como una actividad eficiente, rentable y competitiva a nivel global. Parte de las ventajas que se tienen en México son de tipo ambiental (suelos y climas en su mayoría benéficos) y las estrategias de innovación que se implementen deberían

enfocarse a aspectos técnicos (desarrollo de nuevas variedades con mayor capacidad para producir biomasa y sacarosa, y resistentes o tolerantes a factores bióticos y abióticos, uso eficiente del agua, mayor infraestructura para riego, uso eficiente de fertilizantes, generación y aplicación de biofertilizantes y abonos, desarrollo de variedades biotecnológicas [3].

Los biofertilizantes son productos a base de uno o más microorganismos no patógenos que, al ser inoculados a plantas, pueden vivir asociados o en simbiosis, incrementando el suministro, la disponibilidad y el acceso físico de nutrientes que favorecen mayor crecimiento [4]. La simbiosis entre los Hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) y las plantas es una de las asociaciones más antiguas: más de 400 millones de años, y se sugiere que permitió la adaptación de plantas a los ecosistemas terrestres, considerándose la existencia de coevolución HMA-plantas [5], [6]. El intercambio de nutrientes es la base de esta asociación, en donde la planta suministra al hongo carbohidratos para su metabolismo y el hongo facilita los nutrientes que la planta requiere, en ambientes donde la disponibilidad de éstos, especialmente si es restrictiva para el crecimiento vegetal [7].

La caña de azúcar es un cultivo altamente extractor de nutrientes del suelo y requiere considerables dosis de fertilización de macro y micronutrientes para suplir sus necesidades. Lo anterior se debe a su elevada capacidad de producción de biomasa (tallos molederos, follaje, cepa y raíces), que significa entre 20 y 35 t ha<sup>-1</sup> de materia seca; en peso fresco alcanzan un valor cercano o superior a 100 t ha<sup>-1</sup>, lo cual asociado a la prolongada duración de su ciclo, implica una extracción de nutrientes del suelo de entre 800 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> por año, sobresaliendo el potasio y silicio, seguidos de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos. Estudios en Brasil demuestran que con la fertilización con bajos niveles de nitrógeno (menos de 50 kg ha<sup>-1</sup>) se obtienen rendimientos semejantes a los de países donde los cultivos se fertilizan con altas dosis de este mismo elemento (120-300 kg ha<sup>-1</sup>), como es el caso de Estados Unidos (Hawái), Cuba, Venezuela y México [8]. Se han reportado ganancias económicas por sustitución de los fertilizantes químicos en rangos de 25 a 32% en más de 76% de las experiencias evaluadas en campo, mostrando respuesta positiva e incrementos de entre 25% y 35% en el rendimiento [9]. En ese contexto, se evaluó el efecto de los HMA en caña de azúcar comparados con cinco niveles de fertilización mineral.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Ubicación del experimento.** El experimento se realizó en Tepalcatepec Michoacán localizado en 19°11'21"N 102°50'46"O, se contó con el apoyo de la UNIDAD DE SERVICIOS BIOTECNOLÓGICOS (USB) y la empresa CAÑAVERALES MEXICANOS S.P.R. de R.L. S. A. de C.V., quienes proporcionaron las cepas de HMA y material vegetal para los experimentos.

**Preparación del terreno.** Se realizaron las labores culturales del suelo tales como barbecho, rastreo, surcado, la distancia entre surco y surco fue de 1.5 m. y entre planta y planta de 7 cm.

**Inoculación de HMA.** Se realizó con cepas proporcionadas por la USB, Su inoculación se realizó mediante la técnica de recubrimiento d en el momento de la plantación [10], se aplicó MycovalleR que contiene 60 propágulos mínimo por gramo de las especies *Sclerocystis sinuosa*, *Acaulospora excavata*, *Acaulospora morowiae*, *Funneliformis mosseae*, *Acaulospora kentnensis*, *Acaulospora scrobiculata*, se preparó una solución de sacarosa al 70% y con ella se impregno la caña de siembra y se aplicó el inóculo en una dosis de 2 kg por Ha.

**Siembra.** Se realizó de forma manual colocando 14 yemas vegetativas de caña por metro lineal.

**Manejo agronómico.** Se llevó a cabo de forma tradicional, las fertilizaciones se realizaron en tres ocasiones dividiendo el total de fertilizante en las tres aplicaciones.

**Diseño experimental.** se establecieron 6 tratamientos (figura 1), T1 testigo, T2 aplicación de HMA, T3 HMA+500 Kg/Ha de mezcla de fertilizante, T4 aplicación de HMA+1000 Kg/Ha de mezcla de fertilizante, T5 HMA+1500 Kg/Ha de mezcla de fertilizante y T6 HMA+2500 Kg/Ha de mezcla de fertilizante, la mezcla de fertilizante consistió en un 30% de sulfato de amonio y 70% de urea. el diseño se realizó en bloques al azar con cuatro repeticiones, el tamaño de las parcelas fue de 5X10 m, lo que hace un área de 50 m<sup>2</sup>, las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), diámetro de planta (DP), concentración de azúcares (CA), producción de biomasa (PB) en toneladas Ha<sup>-1</sup>, los resultados fueron analizados con pruebas de Duncan con análisis de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con p = 0.5 en el sistema de análisis estadístico [1].



Figura 1. Diferentes tratamientos en campo de caña de azúcar.

**Cosecha.** Se efectuó a los nueve meses una vez que alcanzó la madurez fisiológica, se realizó de forma ma-

nual para tener mayor control en el peso de cada tratamiento (figura 2) y pesado en bascula digital de capacidad de 100 kg marca ITEMNO.



Figura 2. Cosecha de caña.

**Determinación de oBrix.** Se realizó bajo la norma oficial mexicana NMX-F-436-SCFI-2011 [11] con el refractómetro digital marca PAL ATAGO, al finalizar la cosecha.

**RESULTADOS.**

**Preparación del terreno.** Se logró tener un suelo adecuado para la siembra de la caña con las características de manejo adecuado.

**Inoculación de HMA.** Se llevó a cabo de forma adecuada, la adherencia de esporas y propágulos con el uso de sacarosa al 70%, se considera adecuado este método de inoculación.

**Cosecha.** Se efectuó la cosecha a los nueve meses, una vez que se alcanzó la madurez fisiológica de la caña de azúcar, logrando reducir el tiempo de producción tradicional que es a los 12 meses.

**Efecto de HMA.** Los resultados obtenidos por el efecto de HMA en caña se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Efecto de HMA en caña de azúcar en diferentes dosis de fertilización.

Tratamiento	AP (m)	DP (cm)	CA (°Brix)	PB (Ton/Ha)
T1	1.25 <sup>B</sup>	1.55 <sup>B</sup>	17.03 <sup>B</sup>	65.45 <sup>B</sup>
T2	2.44 <sup>A</sup>	2.96 <sup>A</sup>	24,33 <sup>A</sup>	93.53 <sup>A</sup>
T3	2.42 <sup>A</sup>	2,24 <sup>A</sup>	22,815	95.48 <sup>A</sup>
T4	2.42 <sup>A</sup>	2,8 <sup>A</sup>	23,54 <sup>A</sup>	87.49 <sup>AB</sup>
T5	2.38 <sup>A</sup>	2,96 <sup>A</sup>	24,12 <sup>A</sup>	97.09 <sup>A</sup>
T6	2.42 <sup>A</sup>	2.86 <sup>A</sup>	24,08 <sup>A</sup>	96.71 <sup>A</sup>

\*\*Letras iguales no existe diferencia significativa

En el diámetro de planta (DP) para Tahuico, 2005 [12], no presentaron diferencia entre las plantas con HMA y las fertilizadas con un promedio de 2.4 cm., mientras que de la tabla 1 se observa que en el tratamiento T1 el diámetro fue de 1.55, en el tratamiento 2 (T2) que corresponde a la aplicación de HMA el diámetro que se obtuvo fue de 2.96 cm. Y con la máxima fertilización de 2.86 cm, encontrando diferencia significativa en los tratamientos.

En la altura de planta (AP), Tahuico, 2005 [12], logró con aplicación de HMA una altura de planta promedio de 1.17 m., con la aplicación de fertilizantes de 1.30 m., en este experimento la altura de planta (AP) alcanzada fue de 2.44 m. con la aplicación de HMA (T2) y 2.42 m. con la máxima fertilización (T6) sin tener diferencia significativa entre estos dos tratamientos, sin embargo respecto al T1 que es el testigo si existe diferencia significativa alcanzando una altura de planta de 1.25 m.

Por lo que se refiere a la concentración de azúcares (CA) en la tabla 1 se observa que con la aplicación de HMA alcanzó una concentración de 24.33 oBrix, mientras que con la máxima aplicación de fertilizante (T6) se obtuvieron 24.08 oBrix sin tener entre ambos tratamientos diferencia significativa, no así el T1 que corresponde al testigo que presentó una concentración de 17.03 oBrix con respecto a los anteriores si existe diferencia significativa, Tahuico, 2005 [12], obtuvo una concentración de 18.4 oBrix en experimento aplicando HMA y 18 oBrix mediante el uso de fertilizantes.

Por lo que respecta a la producción de biomasa (PB), Tahuico, 2005 [12], obtuvo como resultados de la aplicación de HMA en caña de azúcar un rendimiento de 159 ton/Ha, igual que con la aplicación de fertilizantes, en el presente experimento se obtuvieron 93.53 ton/Ha. Con la aplicación de HMA mientras que con la dosis máxima de fertilizantes que corresponde al tratamiento 6 (T6) fue de 96.71 ton/Ha, no presentó diferencia significativa.

**CONCLUSIONES.**

Se reconoce el efecto que tienen los HMA en la producción de caña de azúcar el cual puede llegar a sustituir los fertilizantes minerales considerando previamente la fertilidad del suelo. La utilización de biofertilizantes, como en este caso los HMA pueden llegar a producir hasta 93.5 toneladas de biomasa, una concentración de azúcares de 24.3 oBrix, y una altura de planta de caña de los 2.44 m. sin adicionar o aplicar fertilizantes minerales.

**AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo a los Institutos Tecnológicos de Tlajomulco y Coalcomán, a las empresas UNIDAD DE SERVICIOS BIOTECNOLÓGICOS (USB) y la empresa CAÑAVERALES MEXICANOS S.P.R. de R.L. S. A. de C.V., así como al CBTA 70, por las facilidades otorgadas a la realización del presente proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA.

[1]. S.A.S. 2011. *Statistical Analysis System* versión 9.3, 2011.

[2]. FAOSTAT. 2013. *Estadísticas de producción de alimentos. Caña de azúcar*. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

[3]. Gómez-Merino, F.C.; Trejo-Téllez, L.; Morales-Ramos, V.; Salazar-Ortiz, J.; Velasco-Velasco, J.; Senties-Herrera, H.E.1 ; Ladewig, P. 2014. *Necesidades de innovación en la producción de caña de azúcar (Saccharum spp.)*. *Agroproductividad*. año 7. Vol 7. Num. 2. ISSN-0188-7394. 22-26

[4]. Barea J.M., Azcón R., Azcón-Aguilar C. 2002. *Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality*. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology*, 81(1-4): 343-351.

[5]. Remy W., Taylor T.N., Hass H., Kerp H. 1994. *Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae*. *Proc Natl Acad Sci USA*. 91: 11841-11843.

[6]. Bonfante P., Genre A. 2008. *Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary developmental perspective*. *Trends in Plant Science*. 13(9): 492-498.

[7]. Genre, A.; Chabaud, M.; Timmers, T.; Bonfante, P. and Barker, D. (2005). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi Elicit a Novel Intracellular Apparatus in M. truncatula Root Epidermal Cells before Infection*. *Plant Cell*. 17: 3489-3499.

[8]. Caballero-Mellano J., Fuentes-Ramírez L.E., Reis V.M., Martínez-Romero E. 1995. *Genetic structure of acetobacter diazotrophicus populations and identification of a new genetically distance group*. *Applied and Environmental Microbiology* 61:3008-3013

[9]. Ortega E., Fernández L.; Ortega-Rodés P., Rodés R. 2009 *La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar*. (En línea) La Habana: Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de la Habana (Consultado: 12/2/2009 Disponible en: <<http://www.uh.cu/...Ortega/...Ortega/>>).

[10]. Gerdemann, J. W. y Nicolson, T. H. "Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting". *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 46, no. 2, 1963, pp. 235-244, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.

[11]. NMX-F-436-SCFI-2011 *Industria azucarera y alcohólica - determinación de grados brix en jugos*

*de especies vegetales productoras de azúcar y materiales azucarados. Método del refractómetro.*

[12]. Tahuico R.J.S., 2005.. *Respuesta de caña de azúcar a la inoculación con micorrizas vesícula arbusculares en el Ingenio Tres Valles, Zamorano, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria Noviembre Honduras.*





Bioquímica  
*y*  
Biológicos

---

Ingeniantes

# Evaluación fitoquímica del cultivo in vitro del hongo *Laccaria laccata*



## Colaboración

Baleria María Hernández Chávez; Alma Dolores Pérez Santiago; Iván Antonio García Montalvo Marco Antonio Sánchez Medina, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca; María del Socorro Pina Canseco, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

**RESUMEN:** *Laccaria laccata* es un hongo basidiomiceto que pertenece al filo Basidiomycota, posee basidios con basidiosporas (esporas sexuales). *L. laccata* es una seta comestible que normalmente habita en los bosques de la Sierra Norte y Valles Centrales de Oaxaca y su producción es limitada en ciertas épocas del año. Pocos son los reportes sobre *L. laccata* sobre la presencia de metabolitos de interés biotecnológico como ergosterol y ácido oleico. El objetivo de este trabajo fue identificar en cultivos de *L. laccata* la presencia de lectinas y metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides, saponinas, cumarinas, taninos, quinonas, sesquiterpenlactonas y glúcidos cardiotónicos, utilizando la prueba directa de hemaglutinación y métodos colorimétricos.

Se identificó la presencia de lectinas tanto en medio sólido como en medio líquido, y metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides como xantonas y flaonas, saponinas y ácido gálico, en medio líquido. Se determinó ausencia de cumarinas, quinonas, glucósidos cardiotónicos y sesquiterpenlactonas.

**PALABRAS CLAVE:** alcaloides, flavonoides, *Laccaria laccata*, lectina, píleo, saponinas, taninos.

**ABSTRACT:** *Laccaria laccata* is a basidiomycete fungus that belongs to the Basidiomycota phylum, it has basidia with basidiospores (sexual spores). *L. laccata* is an edible mushroom that normally lives in the forests of the Sierra Norte and Central Valleys of Oaxaca and its production is limited at certain times of the year. Few are the reports on *L. laccata* on the presence of metabolites of biotechnological interest such as ergosterol and oleic acid. The objective of this work was to identify in cultures of *L. laccata* the presence of lectins and secondary metabolites such as alkaloids, flavonoids, saponins, coumarins, tannins, quinones, sesquiterpenlactones and cardiotonic glucosides, using the direct hemagglutination test and colorimetric methods.

The presence of lectins was identified in both solid and liquid media, and secondary metabolites such as xanthonas and flaonas, saponins and gallic acid, in liquid medium. The absence of coumarins, quinones, cardiotonic glucosides and sesquiterpenlactones was determined.

**KEYWORDS:** alkaloids, flavonoids, *Laccaria laccata*, lectin, pileo, saponins, tannins.

## INTRODUCCIÓN

El reino fungi posee una amplia diversidad biológica y cuenta con un aproximado de 1,5 millones de especies que se diferencian unas de otras por su ciclo de vida y morfología variables [1]. Los hongos son alimentos nutricionales y funcionales, así como una importante fuente de medicamentos fisiológicamente beneficiosos, debido a las rutas metabólicas que tienen.

**Metabolismo primario**

Es el mecanismo en que un microorganismo realiza reacciones metabólicas necesarias para obtener moléculas generalmente sencillas, que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de un individuo, son casi idénticos en todos los organismos, son más baratos y sencillos de producir, tienen bajo contenido de "actividad biológica" [2]. Por ejemplo las lectinas: que son un grupo heterogéneo de proteínas o glucoproteínas de origen no inmune que se unen de manera específica y reversible a los carbohidratos de los glicoconjugados [3].

**Metabolismo secundario**

Incluye aquellos procesos metabólicos que tienen lugar después de terminado el crecimiento, a través de las vías biosintéticas específicas que no tienen función estructural ni de reserva [4], en esta fase se producen los metabolitos secundarios, los cuales son estructuras químicas únicas que poseen actividades biológicas interesantes y por lo tanto, tienen el potencial de ser valiosos recursos químicos [5], por ejemplo: antibióticos, toxinas, alcaloides que participan de caminos metabólicos no-esenciales, pero confieren capacidades de supervivencia en situaciones de estrés [2].

**Relación entre las dos fases: trofofase e idiofase**

En el metabolismo secundario las fases de crecimiento se denominan trofofase, fase de crecimiento logarítmico donde normalmente no se producen los metabolitos secundarios, e idiofase, la fase estacionaria donde normalmente se producen los metabolitos secundarios. Aunque es una simplificación pensar sólo en dos fases, esto nos permite comprender mejor la fermentación industrial de los metabolitos secundarios, como se muestra en la Figura 1. Es decir, si nosotros queremos producir un metabolito secundario primero debemos asegurar las condiciones apropiadas durante la trofofase para un buen crecimiento y después, debemos alterar esas condiciones en el momento adecuado para asegurar una excelente producción del metabolito secundario.

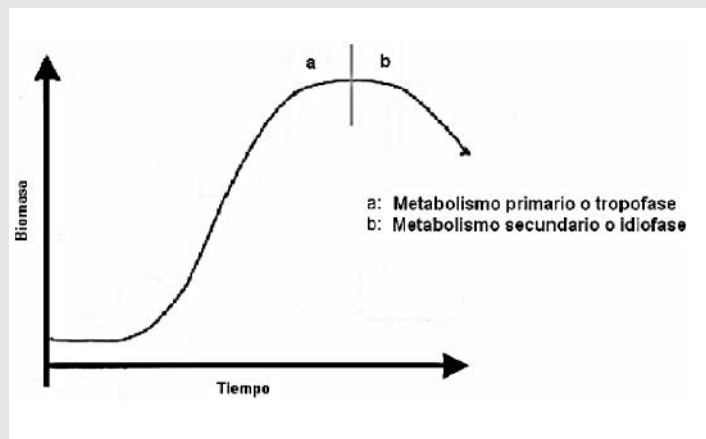


Figura 1. Esquema general del metabolismo fúngico [6].

**Abundancia de hongos en México**

En México existen alrededor de 200,000 especies de hongos [7], sobre lo cual se ha estimado que más de 300 especies de hongos silvestres son comestibles [8].

**Capacidad bioactiva de los metabolitos**

Los metabolitos pueden poseer diversas aplicaciones en el campo de la medicina, dando así al auge de su uso en el tratamiento de numerosos padecimientos como el cáncer o diabetes debido a la capacidad bioactiva que tienen, como se muestra en la Tabla 1 [9, 10,11 y 12].

Tabla 1. Capacidad bioactiva de los metabolitos.

Metabolitos	Capacidad bioactiva
Lectinas	Agente anticancerígeno
Alcaloides	Agentes analgésicos
Flavonoides	Agente antioxidante
Saponinas	Actividad hemolítica
Taninos	Agente antioxidante
Cumarinas	Agente anticoagulante
Quinonas	Agente antimicrobiano
Glucósidos cardiotónicos	Efecto inotrópico positivo
Sesquiterpenlactonas	Actividad citotóxica

**METODOLOGÍA**

En la Figura 2, se muestra la metodología empleada para la evaluación fitoquímica de metabolitos del cultivo in vitro de *Laccaria laccata*.



Figura 2. Diagrama de flujo de la evaluación fitoquímica en cultivos in vitro de *L. laccata*.

y 2018 se adquirió aproximadamente 1 kg de carpóforos de *Laccaria laccata* en el mercado de la Central de Abastos de la ciudad de Oaxaca.

Los hongos frescos se almacenaron de acuerdo al siguiente procedimiento: se lavaron con agua destilada, se dejaron escurrir por 30 minutos, se colocaron en bolsas de papel; posteriormente los hongos se congelaron a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su uso.

### Inoculación en AEM (agar extracto de malta)

Se realizó el fraccionamiento del hongo *L. laccata*, obteniendo tres secciones: lámina (lamela, himenio), píleo (sombbrero) y estipe o estípote (pie). De estas fracciones se utilizaron aproximadamente  $0.5\text{ cm}^2$  de cada uno para inocular en cajas Petri con AEM.

### Identificación de lectinas por hemaglutinación en AEM

Se depositaron muestras de  $1\text{ cm}^2$  de cada cultivo en tubos Eppendorf en condiciones estériles y se diluyeron en  $200\mu\text{l}$  de Buffer Fosfato Salino (conocido también por sus siglas en inglés, PBS, de phosphate buffered saline), pH 7.2. Estas fracciones del hongo se centrifugaron a 3000 rpm por 5 minutos en una centrifuga marca SOL-BAT para utilizar la biomasa.

Para el ensayo de hemaglutinación se utilizó la técnica de diluciones seriadas empleando una solución de eritrocitos humanos tipo O, al 3 % [13]. Para identificar la actividad hemaglutinante se emplearon placas de microtitulación de 96 pozos de fondo "U" (lavadas con agua destilada y desinfectadas previamente con cloro), de acuerdo al siguiente protocolo: en la primera fila se aplicó un control del ensayo colocando solamente  $50\mu\text{l}$  de PBS pH 7.2 y  $25\mu\text{l}$  de eritrocitos en cada pozo, en la segunda fila se colocaron (en ese orden)  $50\mu\text{l}$  de PBS a partir del pozo 1 hasta el pozo 12, enseguida se depositó  $50\mu\text{l}$  de muestra problema al primer pozo y se fue diluyendo en toda la fila de pozos, y desechando los últimos  $50\mu\text{l}$  del último pozo. Finalmente se colocaron  $25\mu\text{l}$  de eritrocitos al 3 % en cada pozo. La placa se agitó suavemente y se dejó reposar por 45 minutos a temperatura ambiente para su posterior lectura.

### Inoculación en CEM (caldo extracto de malta)

Se inoculó aproximadamente  $1\text{ cm}^2$  de cada cultivo (medio sólido) en cada matraz Erlenmeyer con 30 ml de cultivo de CEM. Estos se incubaron a  $25^{\circ}\text{C}$  con una velocidad de agitación de 60 rpm durante 17 días.

### Identificación de lectinas por hemaglutinación en CEM

Se tomaron muestras de  $200\mu\text{l}$  en tubos Eppendorf en condiciones estériles, las cuales se sometieron al mismo proceso de centrifugación para utilizar la biomasa y el sobrenadante de los cultivos. Se colocaron  $50\mu\text{l}$  de muestra en cada pozo de la placa de microtitulación, repitiendo el procedimiento anterior de evaluación de actividad hemaglutinante.

### Identificación de familias de metabolitos secundarios por métodos colorimétricos

Se seleccionó el cultivo con la fracción píleo de *L. laccata* para la identificación de las familias de metabolitos secundarios por pruebas fitoquímicas colorimétricas [14, 15 y 16].

- 1) Para la identificación de alcaloides se empleó el ensayo Drangendorf y el ensayo Wagner;
- 2) Para la identificación de flavonoides se adicionaron 3 gotas de NaOH a una porción de muestra diluida en etanol, la presencia del color amarillo después de la reacción indica que es positiva;
- 3) Para la identificación de saponinas se empleó la técnica de la espuma, es positivo si la altura de la espuma es  $>0.5\text{ cm}$  por 30 minutos;
- 4) Para taninos se empleó el reactivo de gelatina, y el reactivo de  $\text{FeCl}_3$ ;
- 5) Cumarinas, a una muestra con etanol se le añadieron 2 gotas de  $\text{NH}_4\text{OH}$ , una coloración azul-violeta significa positivo;
- 6) Quinonas, al residuo seco obtenido de 1ml de muestra se le añadió etanol y NaOH, da positivo si hay una coloración rojo-violeta;
- 7) Glucósidos cardiotónicos, se empleó la prueba de Baljet;
- 8) Sesquiterpenlactonas, a la muestra se le agregó 2 gotas de clorhidrato de hidroxilamina 2N, 1 gota de KOH y metanol, se calentó a ebullición durante 2 minutos, se acidificó a pH 1 y finalmente se adicionó 1 gota de  $\text{FeCl}_3$ , es positivo si vira a rojo, violeta o rosa en fase acuosa.

## RESULTADOS

### Conservación de los hongos obtenidos

El hongo *L. laccata* (Figura 3) en estas condiciones a  $-20^{\circ}\text{C}$  en bolsas de papel, mantienen discretamente su actividad bioactiva.



Figura 3. *Laccaria laccata*  
Elaboración: Autora, 2019

### Actividad de lectina en AEM

El cultivo de la fracción estipe de *L. laccata* presentó 13 pozos positivos (empezando en la fila 1 de izquierda

a derecha, continuando en la fila 2, de igual forma de izquierda a derecha) al octavo día de crecimiento como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Actividad hemaglutinante de *L. laccata* en AEM: 1) con 13 pozos + y fila 2) continuación (izquierda-derecha).



Figura 6. Actividad hemaglutinante del cultivo de *L. laccata* en CEM. Fila 1: sobrenadante de estipe, fila 2: biomasa de estipe, fila 3: sobrenadante de lámina, fila 4: biomasa de lámina, fila 5: sobrenadante de pileo y fila 6: biomasa de pileo.

En la Figura 5, se representa la actividad de lectina en cultivos de estipe y lámina durante 17 días, donde los cultivos presentan mayor actividad, con 13 y 12 pozos positivos respectivamente, en el octavo día de crecimiento; mientras que la fracción de pileo muestra una actividad hemaglutinante baja, en el doceavo día con sólo 3 pozos positivos.

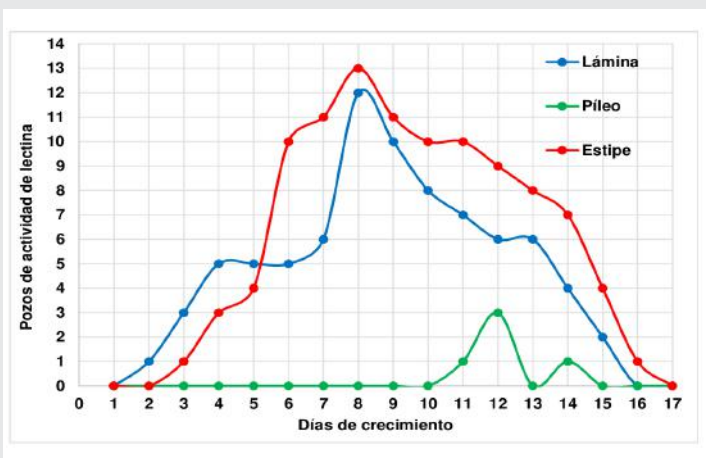


Figura 5. Cinética de Actividad de lectina de *Laccaria laccata* en medio AEM.

### Actividad de lectina en CEM

En la Figura 6 se observa que en la biomasa de las fracciones: estipe y lámina se obtuvieron 5 y 4 pozos de actividad de lectina respectivamente de actividad (fila 2 y 4). Esto significa que la lectina del hongo *L. laccata* se encuentra en la biomasa y no se está liberando al medio. Mientras que la biomasa y sobrenadante del cultivo de la sección pileo no presentaron actividad hemaglutinante, esto puede indicar la presencia de otros compuestos que intervienen en la actividad de lectina.

En la Figura 7, se observa que no existe actividad hemaglutinante del cultivo de la fracción pileo; las fracciones de lámina y estipe alcanzan su máxima capacidad hemaglutinante en el día 5 de crecimiento, el cultivo de lámina presenta 4 pozos de actividad, se mantiene estable por 4 días más y empieza a decaer, por otra parte la fracción estipe obtiene 5 pozos de actividad, posteriormente al sexto día presenta disminución actividad hemaglutinante de forma gradual.



Figura 7. Cinética de actividad de lectina de *Laccaria laccata* en medio líquido CEM.

### Identificación de familias de metabolitos secundarios por métodos colorimétricos

1) **Alcaloides:** El ensayo con el reactivo Drangendorf arrojó resultados positivos para la fracción sombrero de *L. laccata*. Se observó la formación de un precipitado color naranja (Figura 8a), debido a la capacidad que tienen los alcaloides en estado de sal (extracto ácido), de combinarse con el yodo y metales pesados como el bismuto, mercurio, tungsteno formando precipitados [17]. Con el reactivo Wagner (Figura 8b) presentó una

precipitación de color café-naranja que es indicio de un alcaloide.

2) **Flavonoides:** La prueba de flavonoides indicó la presencia de xantonas y flaonas al presentar un precipitado de color amarillo (Figura 8c) en cultivo de la fracción sombrero de *L. laccata*, mientras que dieron negativos para antocianinas y chalconas.

3) **Saponinas:** La muestra de la fracción sombrero del hongo al agitarla vigorosamente en un tubo de ensaye, presentó 1 cm de altura de espuma durante 30 minutos (Figura 8d).

4) **Taninos:** Prueba 1, al agregar el reactivo de gelatina no formó el precipitado blanco indicativa de positiva. Prueba 2, se formó un precipitado de color azul-negro denotando la presencia de ácido gálico (Figura 8e).

5) **Cumarinas:** El resultado dio negativo al no presentar el color azul a violeta; simplemente la muestra se tornó más claro con respecto al control (Figura 8f).

6) **Quinonas:** Este ensayo dio negativo al no presentar la coloración de rojo a violeta que es indicativa de positiva (Figura 8g).

7) **Glucósidos cardiotónicos:** En la prueba de Baljet, solo hubo cambios de color debido a la propia coloración del reactivo (Figura 8h).

8) **Sesquiterpenlactonas:** Al darle un tratamiento previo a la muestra de sombrero y después se agregó cloruro férrico al 1%, no presentó ninguna coloración roja, violeta o rosa indicativa de prueba positiva. Solo tomó un aspecto más turbio (Figura 8i).

## CONCLUSIONES

Se concluye que los cultivos in vitro de *L. laccata* pueden ser empleados como herramienta biotecnológica para la producción de metabolitos primarios y secundarios.

En este estudio se encontró que las lectinas de *L. laccata* en AEM se sintetizan en un periodo de 8 días de crecimiento y en CEM necesitan 5 días de para presentar actividad hemaglutinante. Así mismo las fracciones que tuvieron mayor actividad tanto en AEM como en CEM fueron: estipe y lámina.

En la fracción píleo de *L. laccata* se identificaron por pruebas fitoquímicas colorimétricas la presencia de 4 metabolitos secundarios: alcaloides, flavonoides: xantonas y flaonas, saponinas y taninos como el ácido gálico. Estos resultados obtenidos sirven de preámbulo para estudios futuros en donde se puede implementar alguna técnica de extracción de metabolitos para profundizar en las propiedades antitumorales, antibacterianas, antioxidantes, antifúngicas, entre otras, que puede poseer el hongo. Es necesario continuar los estudios de investigación farmacéutica, industrial y alimentario de *Laccaria laccata*.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Elvira Aguirre Acosta, Miguel Ulloa, Samuel Aguilar, Joaquín Cifuentes y Ricardo Valenzuela. (2014). *Biodiversidad de hongos en México [versión electrónica]. Revista Mexicana de Biodiversidad, volumen 85, pags. 76-81.*

[2] Miryan Cassanello. (n.d.). *Biotechnología Industrial Producción industrial de Metabolitos en Bioreactores. PINMATE - Dep. Industrias, FCEyN-UBA.*

[3] Chumkhunthod, P. (2006). *Purification and Characterization of an N-acetyl-Dgalactosamine-specific Lectin From the Edible Mushroom Schizophyllum commune. Biochimica et Biophysica. 1760(1):326 - 332.*

[4] De Baets S. (2000). *Vitamins and related bio-factors, microbial production. Encyclopedia of microbiology. Academic, London, pag. 837-853.*

[5] Kim, S. E., Hwang, B. S., Song, J. G., Lee, S. W., Lee, I. K., y Yun, B. S. (2013). *New bioactive compounds from Korean native mushrooms. Journals Mycobiology, Vol. 41, Num. 4, pags.171-176.*

[6] Aura P. Chaparro P. (2010). *Aislamiento e identificación de metabolitos producidos por la cepa nativa SPG 321 de Mucor circinelloides y evaluación de su actividad antimicrobiana. Magister en microbiología, Pontificia Universidad Javeriana; Bogotá D.C., pp 31.*

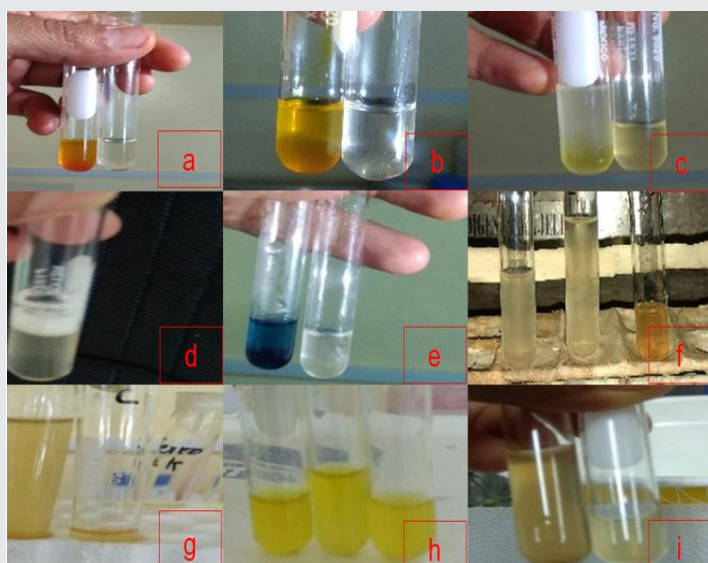


Figura 8. Identificación de metabolitos secundarios en el cultivo de píleo de *L. laccata*: a) y b) Alcaloides; c) Flavonoides: xantonas y flaonas; d) Saponinas; e) Taninos; f) Cumarinas; g) Quinonas; h) Glucósidos cardiotónicos e i) Sesquiterpenlactonas.

[7] Guzmán, G. (2008). *Diversity and use of traditional Mexican medicinal fungi. A review. International J. Medicinal Mushrooms Vol 10, pags. 209-217.*

[8] Boa, E. (2004). *Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población, No. 17. FAO, Roma, p.161.*

[9] Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia, Fitoterapia y Plantas Medicinales. 2a. Edición. España. Editorial Acribia, S. A.*

[10] Enzio Foy V. (2005). *Extracción, identificación y evaluación de saponinas en Agaricus bisporus. Biotempo, Vol. 5, pags. 31- 36.*

[11] Oliveros A. (2018). *Extracción y cuantificación de cumarinas mediante HPLC-UV en extractos hidroetanolicos de semillas de Dipteryx odorata. Revista Latinoamericana de Química. Vol. 39, pags. 17-39.*

[12] Casamtjana N. (2018). *Glucósidos cardiotónicos. Centro de información del medicamento. Colegio oficial de farmacéuticos de Barcelona.*

[13] Jaffé, W. G. *Hemagglutinin. (1980). Toxic constituents of plant foodstuff. Ed. by I.E. Liener. New York, U.S.A., Academic Press, pags. 73-102.*

[14] María del Socorro Pina C. Angelia Hernández M. y Zurisaday Victoriano D. (n. d.) *Determinación de metabolitos secundarios por pruebas fitoquímicas colorimétricas a extractos de hongos comestibles (Informe). Facultad de Medicina y Cirugía Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.*

[15] Suhul L. y Carlos A. (2011). *Determinación de metabolitos secundarios presentes en el hongo Schizophyllum commune (oreja de palo) cultivados en laboratorio, provenientes de cepas aisladas en 5 localidades de Guatemala. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC;*

[16] Gabriel J. Arango A. (2008). *Alcaloides y compuestos nitrogenados. Tesis de licenciatura. Facultad de Química Farmacéutica; Medellín.*

[17] Ríos H. Erika N. (2012). *Determinación de metabolitos secundarios y código de barras de ADN de vitroplantas de Turbinicarpus valdezianus. Tesis de maestría, (pp. 11). México: Saltillo Coahuila.*



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

---

Ingeniantes



# Adaptabilidad del bambú en el municipio de Comala: un recurso forestal no maderable



## Colaboración

Víctor Manuel Guevara Aguilar; José Ricardo Moreno Peña; Santiago Arceo Díaz; Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Colima, Rogelio Cesar de Lira Fuente, Consejo Colimense del Bambú

**RESUMEN:** El cultivo del bambú dado su rápido crecimiento ayuda a frenar la deforestación, así mismo favorece la restitución del suelo y cambio climático. Este trabajo tiene como objetivo medir la adaptabilidad de la especie de bambú *guadua angustifolia* a las condiciones climatológicas y tipos de suelo en un cultivo de 40 hectáreas, en la localidad “El Remudadero”, municipio de Comala, estado de Colima. El diámetro y la altura de los brotes medidos se compararon con la información existente en la literatura. Los registros se tomaron de plantas de cinco años de edad. El diámetro y la altura promedio de una muestra de 100 brotes de bambú fue del 79% y del 98% del valor esperado. Finalmente se observa que es viable el cultivo de esta especie en el Estado de Colima.

**PALABRAS CLAVES:** adaptabilidad, bambú, especies maderables, *guadua angustifolia*, recurso forestal.

**ABSTRACT:** The cultivation of bamboo, given its rapid growth, helps to stop deforestation, as well as favoring the restitution of soil and climate change. This work aims to measure the adaptability of the *guadua angustifolia* bamboo species to the weather conditions and soil types in a 40-hectare crop, in the town “El Remudadero”, municipality of Comala, state of Colima. The diameter and height of the measured shoots were compared with the information in the literature. Records were taken from five-year-old plants. The average diameter and height of a sample of 100 bamboo shoots was 79% and 98% of the expected value. Finally, it is observed that the cultivation of this species is viable in the State of Colima.

**KEY WORDS:** adaptability, bamboo, forest resource, *guadua angustifolia*, timber species.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un problema serio de deforestación en el país, provocando el aceleramiento de la desertificación. Por otro lado, la madera es un recurso indispensable para el ser humano, desde la antigüedad se ha utilizado como leña para calentar agua, preparar alimentos, calentar el hogar, fabricar muebles, construir casas, etc. Además su industrialización genera fuentes de trabajo, por ejemplo: en estructuras y cimbras para la construcción, para la producción de diferentes tipos de papel, fabricación de muebles, etc. La madera es un recurso forestal renovable pero lento, un pino necesita más de 20 años para que se pueda aprovechar todo su potencial.

Es importante señalar que hay más de 1,200 especies de bambú en el mundo. En México tenemos alrededor de 40 especies nativas de bambú. Comparado con las especies maderables, los bosques de bambú captan más agua y bióxido de carbono [1]. Las plantaciones de *Guadua* pueden funcionar como sumideros de CO<sub>2</sub>. Los cambios en la capacidad de fijación dependen de la edad de la plantación, del crecimiento y de la madurez de los culmos, esto aunado a su rápido crecimiento y al hecho de que no necesita de un sistema de riego lo vuelve una alternativa viable para frenar la deforestación, ayudando a revertir el cambio climático; coadyuvando al desarrollo sustentable de las comunidades.

El municipio de Comala se encuentra en la parte norte del Estado de Colima, en las faldas del Volcán de Fuego, donde las condiciones climáticas son similares a las de regiones en donde el cultivo del bambú (*Guadua angustifolia*) es favorable. Debido a la creciente demanda de este recurso natural se conformó el Consejo Colimense del Bambú, integrado por investigadores, artesanos, arquitectos y productores que han arriesgado parte de sus recursos y reservas territoriales para probar la producción de la especie de bambú *Guadua angustifolia*, de origen centroamericano y considerada una de las más resistentes del continente Americano.

En la República Mexicana según [2] se encontraron especies de bambú en 23 de las 36 Entidades Federativas, sin embargo la mitad de ellas se concentra en sólo 4: Chiapas 17%, Veracruz 14%, Oaxaca y Guerrero con 13 y 6 % respectivamente”.

[3] plantea que dadas las características de la especie de bambú *Guadua angustifolia*, se puede adaptar a la región noreste del estado de Colima, ayudada por sus condiciones climáticas similares. La *Guadua* crece óptimamente en sitios cuya altura sobre el nivel del mar va desde los 0 a los 1800 metros, precipitaciones entre 1200 y 2500 milímetros anuales, temperaturas entre 18° y 25° centígrados y humedad relativa superior al 70%. (Condiciones similares a las que pueden encontrarse en el Estado de Colima). Se adapta a otras condiciones extremas y fuera de los rangos antes mencionados pero su desarrollo no es ideal. No aguanta condiciones de sequía prolongadas. Los suelos ideales para su desarrollo son aquellos ricos en materia orgánica, bien drenados, de textura franco arenosa, areno-limosa, arcillosa y franco-limosa. A pesar de preferir las orillas de los ríos y quebradas, se encuentra en óptimas condiciones en sitios con pendientes y alejados de fuentes de agua.

[4] comentan en investigaciones realizadas en el Centro Nacional para el Estudio del Bambú - *Guadua* en el departamento del Quindío donde se presentan condiciones óptimas para el desarrollo de la *Guadua* (temperatura 25 °C; 1240 msnm.; precipitación 2242 mm/año; brillo solar 1757 horas/luz/año).

El presente trabajo de investigación estudia la adaptabilidad del bambú (*Guadua angustifolia*) en el municipio de Comala, estado de Colima. En la localidad del Remudadero, el ingeniero Rogelio Lira, productor y miembro fundador del Consejo Colimense del Bambú, sembró 40 hectáreas de bambú de la especie *Guadua angustifolia*, esta es una de las más utilizadas en el mundo por sus características de uso estructural y es originaria de sur América principalmente de Colombia, Ecuador y Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método tradicional de cultivo que [5] menciona, es el de propagación a partir de chusquines, los cuales se encuentran en la base de los plantones, y se originan a partir de las yemas adventicias en las raíces y rizomas. Estas pequeñas plantas emergen una vez que el plantón o el culmo es cosechado o por razones mecánicas del viento son derribadas. Este método de propagación es muy recomendado por el alto índice de supervivencia y desarrollo; cada brote que sale del rizoma puesto en vivero puede producir de dos a 12 plántulas nuevas en cuatro meses.

Otro autor [5] menciona que algunas formas de propagación empleadas con las *Guadua*s incluyen el uso de ramas laterales y secciones completas de culmos y/o rizomas.

El ingeniero de Lira mostró un cultivo entre 4 y 5 años de edad observando brotes con diámetros de más de 6 cm. El método de propagación asexual es decir sin semilla que utiliza el ingeniero, es a partir de chusquines como lo describe [6]. La reproducción con semilla o reproducción sexual del bambú no es viable porque los periodos de floración son de 30, 60, 90 o más de 100 años, hecho que hace inviable esta metodología.

La raíz o rizoma del bambú forma un sistema radicular, esto significa que de un rizoma, nace otro rizoma y así sucesivamente de adentro hacia afuera de manera radial, por cada rizoma hay un tallo, (Figura 1). Conforme pasa el tiempo los nuevos brotes son más gruesos que sus padres y el diámetro de cada uno de los tallos no cambia o sea se mantiene constante desde el nivel del terreno hasta la parte más alta.

A diferencia de los árboles maderables, el bambú no presenta tejido de cambium, es decir el tallo o tronco no crece con el tiempo. Esta es una ventaja del bambú porque desde un inicio sabremos el diámetro que tiene el tallo o culmo al brotar de la tierra.

Los *Guadua*les, deben de estar separados entre sí más de 5 m, además deben de existir camellones para que los mozos puedan acceder con facilidad a cualquiera de ellos para manejar el cultivo que consiste básicamente en realizar un corte exactamente en el primer nodo de cada tallo llegado o maduro, este corte no se

deberá realizar en el entre nodo porque al hacerlo, el tocón (parte del tallo que queda unida a la raíz) puede almacenar agua y la humedad puede provocar que se pudra la planta, en el caso de la guadua nos damos cuenta que el tallo está maduro porque cambia de color, cuando esta tierno el tallo es verde y después de un tiempo, aparecen manchas amarillas, las cuales se expanden por el tallo hasta cubrirlo completamente. Además al cortar los tallos más pequeños, esto permitirá que sus hijos broten y se desarrollen sin problemas de interferencia aérea. Para realizar la poda del bambú, nunca se deberá cortar más del 33% de los tallos, es decir, si tenemos 10 tallos llegados, solo se cortaran 3 y se esperaran tres meses para realizar otro corte. Si se cortan todos los tallos se puede provocar un desequilibrio en la planta para realizar el proceso de fotosíntesis.

máticas logra entre 10 y 13 cm de altura en 30 días y diámetros que se incrementan a un promedio de 0.10 mm mensuales; al finalizar el primer año tiene un promedio de 12-14 rebrotes con vida productiva de 3-4 meses al cabo de los cuales se secan de arriba hacia abajo para dar paso a nuevos rebrotes con que adquieren mayor altura y salen con diámetro mayores. En condiciones normales en las primeras fases de desarrollo, siempre los nuevos hijos (renuevos) poseen mayor tamaño de rizoma, diámetro y altura, con relación a la planta que los generó. A partir del tercer año de sembrada la planta original, se logra tener entre 18-20 rebrotes, alturas que oscilan entre los 5 y 7 m y diámetros de 4-6 cm; época en la cual se deben realizar los primeros tratamientos silviculturales para evitar exceso de tallos. Entre los 3 y 6 años la planta de guadua entra en una etapa de desarrollo vertiginoso, adquiere alturas entre 12 a 15 m, incremento de los diámetros entre 9 y 11 cm y disminución en el número de renuevos siendo estos de 12-14; A partir de esta etapa la planta estabiliza su desarrollo evolutivo, estandarizando patrones como altura promedio de 15 a 18 m, diámetros entre 10-12 cm y promedio/Ha de 4000 a 4500 individuos diferenciados de manera clara de acuerdo a la edad de desarrollo así: Renuevos, guaduas viches (jóvenes), guaduas hecha (madura) y guaduas secas (las que culminan su ciclo). En esta etapa el gradual se considera desarrollado en cuanto a producción de individuos debidamente formados en diámetro y altura”.



Figura 1. Brote de bambú de la especie *Guadua angustifolia*.

Se pudo observar que el proceso de adaptación de las especies al clima de Colima, ha sido mejor de lo que se esperaba al decir de los productores, por lo que se requiere probar las ventajas de este recurso natural para incrementar su uso de forma adecuada y lograr con esto su desarrollo sustentable en el estado y a nivel regional, incidiendo en la rama de la construcción.

La adaptabilidad de los brotes de bambú se evaluó en términos de la comparación del diámetro y altura, de una población de 14,000 plantas de 5 años de edad. De acuerdo a [7], el tamaño mínimo necesario para que los resultados del estudio tengan un nivel de confianza del 95%, con un margen de error del 5%, es de aproximadamente 100 plantas, las que se analizaron y se eligieron aleatoriamente, los diámetros y alturas medidos fueron comparados con la información proporcionada por [8], en donde se dice que “La planta con el transcurrir del tiempo origina cada vez nuevos rebrotes que van evolucionando en diámetro y altura a tal punto que dependiendo del tipo de suelo y de las condiciones cli-

Salas fue el autor que mejor describió el crecimiento del bambú de la especie en cuestión, con esta información se construyó la tabla 1.

TABLA 1. Rango de alturas y de diámetros de acuerdo a [8].

Año	Alturas			Diámetros		
	< (m)	Prom. (m)	> (m)	< (cm)	Prom. (cm)	> (cm)
1	1.2	1.4	1.6	3	3.5	4
3	5	6	7	4	5	6
6	12	13.5	15	9	10.5	12
8	15	16.5	18	10	14	18

Posteriormente estos datos se utilizaron para obtener las gráficas de comportamiento promedio de las alturas en metros (m) y diámetros en centímetros (cm). De los tallos, mostrados en las Figuras 2 y 3.

En la figura 2. Se observan la tendencia del comportamiento de las alturas alcanzadas por los tallos del bambú a diferente edad, a partir de la información proporcionada por Salas.

De manera similar en la figura 3. Observamos la tendencia del crecimiento de los diámetros alcanzados de acuerdo a su edad.

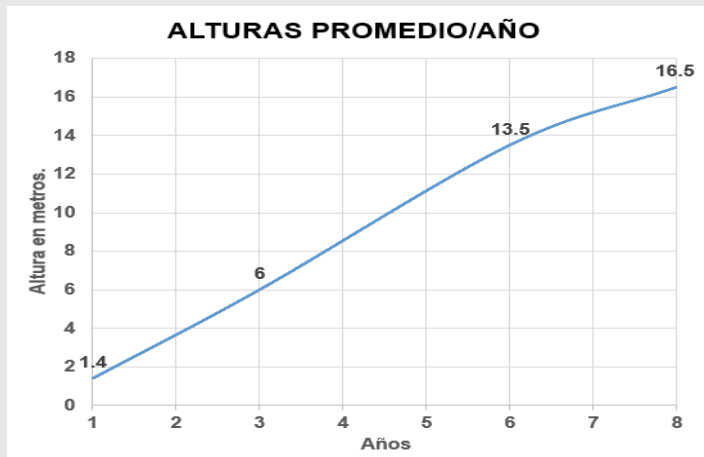


Figura 2. "Comportamiento de crecimiento de los tallos en relación a su edad."

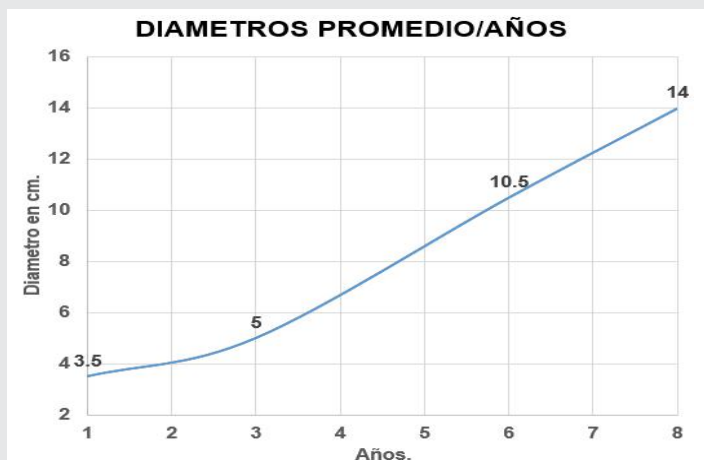


Figura 3. "Comportamiento de crecimiento de los diámetros respecto a su edad"

De acuerdo a la información proporcionada por [8] se obtuvieron dos ecuaciones para cada una de las tendencias presentadas anteriormente, las primeras dos ecuaciones determinan la altura y las otras dos, el diámetro tomando en cuenta la edad de los tallos.

Las ecuaciones de alturas son:

$$I. y = -0.034x^3 + 0.383x^2 + 1.214x - 0.163$$

Obteniendo un coeficiente de correlación  $R^2=1$ .

$$II. y = 2.2103x - 0.5966$$

Para la que se obtuvo un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.9924$

Las ecuaciones obtenidas para los diámetros son:

$$III. y = -0.0333x^3 + 0.55x^2 - 1.0167x + 4$$

Obteniendo un coeficiente de correlación  $R^2 = 1$

$$IV. y = 1.5517x + 1.2672$$

Para la que se obtuvo un coeficiente de correlación  $R^2 = 0.98$

El coeficiente de correlación  $R^2$ , se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, menor será el ajuste del modelo a la variable. A pesar de que los ajustes lineales dados por las ecuaciones II y IV presentan un coeficiente de correlación muy cercano a 1, se optó por utilizar las ecuaciones polinómicas I y III porque reproducen mejor el crecimiento de altura y diámetros esperados para brotes de 5 años de edad (ver las figuras 4 y 5).

## RESULTADOS

Aplicando la ecuación I, polinómica de orden 3 con  $R^2=1$ , ver figura 4, donde "Y" representa la altura de los brotes, medida en metros, y "X" representa el tiempo, medido en años, se proyecta que para una edad de 5 años la altura será de 11.19 m. Si aplicamos la ecuación II, ecuación lineal con  $R^2=0.99$ , la altura será de 10.45 m. En cuanto a la altura de los culmos, registrados en campo, el rango de la muestra es de 9.87 m. a 10.92 m.

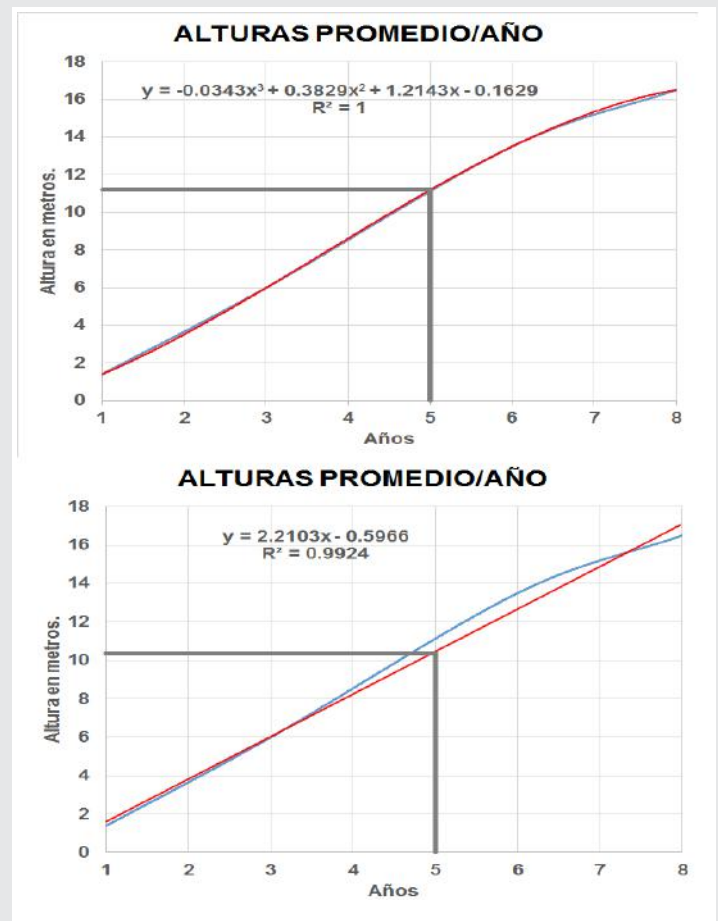


Figura 4. Comparación entre línea de tendencia polinómica y lineal para determinar la altura de los brotes.

Asimismo, el diámetro esperado tras un periodo de 5 años, de acuerdo a la ecuación III, polinómica de orden 3 con  $R^2 = 1$ , donde "Y" representa el diámetro de los brotes, medido en centímetros, y "X" representa el tiempo, medido en años será de 8.50 cm. Ver figura 5.

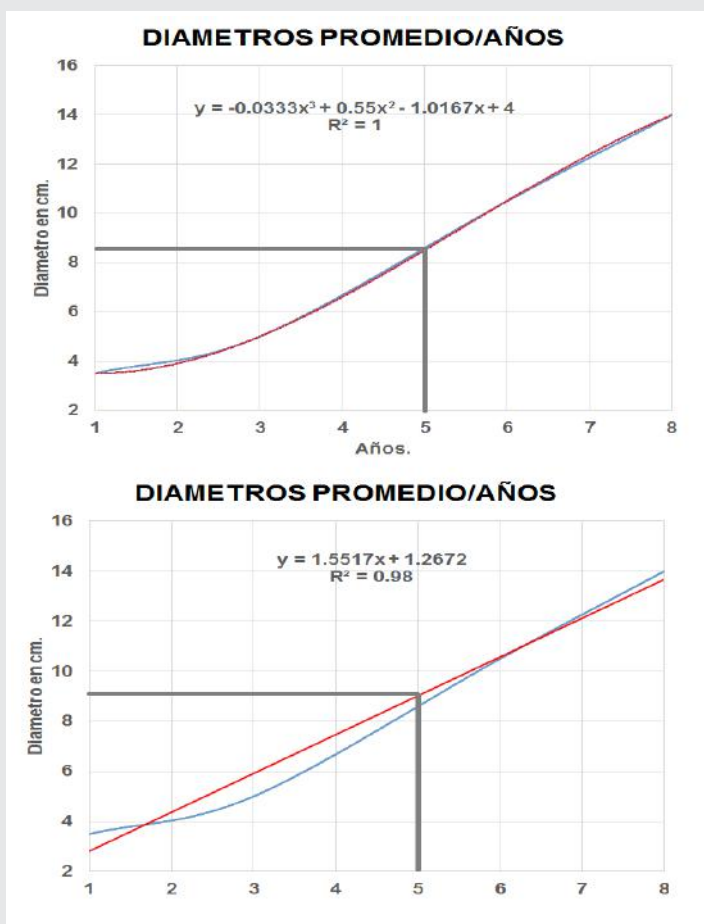


Figura 5. Comparación entre línea de tendencia polinómica y lineal para determinar el diámetro de los brotes.

Si aplicamos la ecuación IV, con  $R^2 = 0.98$ , el diámetro será de: 9.02 cm.

El rango de los diámetros registrado en el Remudadero son respectivamente 6.50 y 6.98 cm.

## CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra la viabilidad del cultivo del bambú: de acuerdo a las mediciones realizadas, tanto para el diámetro externo como para la altura, los brotes plantados en el sitio de estudio alcanzaron, respectivamente, 6.74 cm y 10.92 m, equivalentes al 79% y el 98% de los valores reportados por Salas para una edad de 5 años. Debe aclararse que este estudio se encuentra en una fase temprana y se requiere más registros para los años futuros e iniciar con pruebas de resistencia, cuando los culmos presenten más de 9 cm (el diámetro recomendado para utilizar elementos estructurales hechos de bambú).

Debe mencionarse, que los factores climáticos, como la precipitación, temperatura, asoleamiento y humedad, así como la altura respecto al nivel del mar y el tipo de suelo del predio el Remudadero están dentro de los rangos recomendados por [3] y (4). Sin embar-

go, se requieren más estudios que permitan determinar cuál es el factor, de los antes mencionados, que crea el déficit observado en el diámetro de los brotes, que es el que más difiere respecto a los valores óptimos. Así mismo, sería necesario realizar mediciones a futuro para concluir si las plantas en el sitio de estudio pudieron lograr el diámetro y altura óptimos en su estado de madurez: una altura máxima de 30 m y un diámetro máximo de 25 cm para la especie *Guadua angustifolia*. Los autores de este trabajo estiman que el déficit obtenido es debido a que en la región cercana a la plantación, las lluvias se presentan durante el verano, del 21 de junio al 21 de septiembre, disminuyendo significativamente el resto del año, lo cual afecta el desarrollo óptimo de la planta, por ejemplo que esta alcance alturas y diámetros reportados por Salas, aun considerando la capacidad del bambú para almacenar agua.

El presente trabajo contribuye a servir como un estudio base para determinar la viabilidad del bambú en Comala. Este recurso forestal podría coadyuvar al desarrollo social y económico de productores y empresarios que apuestan por alternativas ambientalmente sustentables.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Camargo, J. C., Rodríguez, J. A., & Arango, A. M. (2010). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de *Guadua* en la zona cafetera de Colombia. <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/99/180>

[2] Rodríguez, R., Galicia, L., Sánchez, W., Gómez, L., Zarco, A., & Ceccon, E. (2009). Usos actuales, distribución potencial y etnolingüística de los bambúes leñosos (*Bambuseae*) en México. *Ethnobotany/CEB2009 Tradiciones & transformaciones en Etnobotánica*: <http://scifunam.fisica.unam.mx/mir/el/marinacapitulodelibroRodriguez.pdf>

[3] Botero Cortés, L. F. (2009). Reproducción de la *Guadua angustifolia* por el método de chusquines. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES\\_ARBRES/bambou/Propagation-of-Guadua-Angustifolia-using-the-Chusquines-method.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/bambou/Propagation-of-Guadua-Angustifolia-using-the-Chusquines-method.pdf)

[4] Forero, L. A., Cabrera, L., & Delgado, C. (2005). Evaluación de adaptabilidad de la *Guadua angustifolia* Kunt.) En las veredas caldera bajo y san antonio municipio de pasto - nariño. *Revista de ciencias agrícolas*. 22(1): <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6191421.pdf>

[5] Márquez de Hernández, L., & Marín Ch, D. (2011). Propagación y crecimiento de *Guadua amplexifolia* Presl., *G. angustifolia* Kunth y *Elytostachys typica* Mc Clure, en tres tipos de sustratos. *Obtenido de Bioagro*, 23, ( 3) pp. 191-198: <https://www.redalyc.org/pdf/857/85721149006.pdf>

[6] Gallardo, C., Marisol Freire, C., García, Y., Pérez, S., González, M., & León, J. (2008). Comportamiento en la brotación de las yemas de estacas de *Guadua angustifolia* Kunth empleadas en la propagación. *Cultivos Tropicales* 29 (1): [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362008000100003&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362008000100003&lang=es)

[7] Instituto Tecnológico de Chihuahua. (11/10/2018). Cálculo del Tamaño de la Muestra para Estimar una Media: <http://www.itchihuahua.edu.mx/academic/industrial/estadistica1/cap01d.html>

[8] Salas Delgado, E. (2006). 4. La *Guadua angustifolia* "El Bambú Colombiano". Obtenido de *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia* : Simón Velez : símbolo y búsqueda de lo primitivo: pp 35: <http://hdl.handle.net/10803/6130>



# Calidad

y

# Sistemas de Manufactura

---

# Ingeniantes

# Prototipo de urna funeraria ecológica elaborada con fibra de coco



## Colaboración

Alondra Izamar Llamas Flores; José Luis Vázquez Banda; José Javier Balderrama Casillas; Jorge Mauricio Reyes Ramirez, María Cristina Pedraza Marín, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Colima

**RESUMEN:** Se desarrolló y describió un método para la elaboración de urnas biodegradables a partir de una masa orgánica hecha a base de fibra de coco y pegamento orgánico.

El desarrollo de una urna biodegradable surge como solución a una problemática tanto ambiental como social de disminuir los gastos de los servicios funerarios, el aprovechamiento de residuos de coco y minimizar el espacio requerido por los cementerios en el municipio de Villa de Álvarez y la ciudad de Colima, México. Debido a las características y versatilidad con las que cuenta la fibra de coco la hacen una materia prima aplicable en la creación de diferentes productos, entre ellos las urnas que, en este caso, por ser hechas con estopa de coco y otros materiales orgánicos, pueden ser denominadas como biodegradables. Se realizaron pruebas de degradación y disolución con 3 prototipos diferentes, resultando en durabilidad y resistencia favorable y prometedora. Se identificaron puntos generadores de este desecho para poder tener una fuente de obtención de materia prima para la elaboración de los prototipos.

**PALABRAS CLAVE:** Coco, Colima, Estopa, Fibra, Orgánico, responsabilidad social.

**ABSTRACT:** A method for preparing biodegradable urns from an organic mass made from coconut fiber and organic glue was developed and described.

The creation of a biodegradable urn emerges as a solution to the environmental and social problems of reducing the expenses of the funeral services, using coconut residues and minimizing the space required in the city of Villa de Alvarez and Colima's cemeteries. Due to the characteristics and versatility that coconut fiber has, they make it a great material in the creation of different products, that in this case, re organic urns because they are made with coconut bast and other organic materials, can be denominated as biodegradable. Degradation and dissolution tests were performed with 3 different prototypes, resulting in favorable resistance and durability qualities. As well as generating recollection points of this waste where we could be able to recollect for future fabrications.

**KEYWORDS:** Coconut, Colima, Stupa, Fiber, Organic, social responsibility.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2017) en México las defunciones registradas en el año de 2017 fueron de 693,848, ocupando el estado de Colima el trigésimo primer lugar con 4,593 decesos. De ese total, en el municipio de Villa de Álvarez se registraron 571 defunciones las cuales, la totalidad son competencia del cementerio de dicha ciudad. [1]

Velasco y Minota (2011) plantean que la actividad del sepulcro puede provocar problemas de salud pública por contaminación de lixiviados que son liberados en el proceso de descomposición de los restos, componentes que pueden filtrarse en el suelo, y debido a la volatilización de sustancias tóxicas como los



barnices y disolventes, al igual que elementos como lo son el plomo y zinc que se esparcen en la superficie terrestre [2], los materiales de los féretros también contribuyen a generar un impacto ambiental en el subsuelo y en los mantos freáticos, lo que conlleva a una incapacidad de uso de estos recursos.

Hoy en día, la cremación es una opción que va cada vez más al alza en los servicios funerarios. En diversos lugares, una vez que el proceso de pulverización de los restos carbonizados terminó, estos son dispuestos en una urna funeraria, las cuales son contenedores cerrados (habitualmente herméticos), fabricados con una variedad de materiales como lo son el mármol, la madera o el plástico, dependiendo de la capacidad adquisitiva de los familiares [3] (Rodríguez, 2018).

De acuerdo con Rodríguez (2018) no existe un diseño específico para su fabricación, ya que su tamaño varía de acuerdo con; fabricante, costo, volumen de las cenizas y edad del fallecido. Como mínimo las urnas deben de contar con un grosor de paredes y fondo de 1.5 cm, con un interior revestido con tela. [4]

Su diseño exterior depende del material con el que estas fueron fabricadas; las urnas de madera suelen ser barnizadas con pinturas de acabado brillante. Algunas tienen símbolos o figuras con herrería, esto de acuerdo con las ideologías religiosas de la familia y costumbres de la sociedad en donde se elaboran [5] (Rodríguez, 2018).

En los últimos años han surgido las urnas biodegradables, las cuales están fabricadas a partir de materiales orgánicos, que cuentan con la capacidad de degradarse en el entorno natural.

De acuerdo con la SAGARPA (2017) el coco (Cocos nucifera) es un fruto tropical que se cultiva favorablemente en climas cálidos y húmedos, siendo las costas un lugar óptimo para su producción.[6]

Ocupando Colima el segundo lugar en el país con mayor producción de coco. En 2017 se cosecharon 14 mil 440 hectáreas de este cultivo, produciendo 18 mil 872 toneladas en los municipios de Tecomán, Armería, Manzanillo y Coquimatlán [7] (SADER, 2018). Este fruto es sometido a una amplia gama de procesos industriales para la obtención de diversos productos. Tiene una forma de ovoide, mide de entre 20 a 30 cm y pesa hasta 2 kg y medio; está cubierto de fibras lo que conforma el mesocarpo [8] (SAGARPA, 2017), las cuales de acuerdo con Quintero y González (2006) cuentan con 1 mm de longitud, un diámetro de 15 micras, una capacidad de estiramiento de 29.04% con un módulo de rigidez de 1.8924 dinas/cm<sup>2</sup> [9].

De esto nace la idea de crear una urna que sea amigable con el medio ambiente a base de fibra de coco

aprovechando los residuos generados de este fruto como materia prima.

La producción de dicho tipo de urnas atiende a la nueva tendencia del mercado de adquirir productos con una huella ecológica mínima, aunado con el desarrollo sustentable, creando artículos de calidad que no causen daños al medio ambiente. Así mismo, gracias a los datos de SAGARPA (2017) sabemos que en el año 2017 en Colima se cosecharon 14 mil 440 hectáreas de este cultivo, produciendo 18 mil 872 toneladas de este cultivo, por lo cual, sabemos que la materia prima de la fibra de coco es fácil de conseguir en el estado de Colima [10]

El desarrollo de dicha idea abre un panorama de beneficios para las funerarias tales como:

- Ofrecer un producto novedoso
- Lograr vender originalidad a sus clientes
- Ampliar el catálogo de productos para que un mayor porcentaje de la población se vea interesado
- Una huella ecológica menor.

Ahora, las urnas biodegradables, en contraste con las que ya podemos encontrar en el mercado, logran captar la atención de un sector de la población el cual busca una mayor espiritualidad y conexión con los artículos y servicios que adquiere, el cual se enfoca en gran medida por la sustentabilidad de los productos que adquieren y la responsabilidad social del consumidor, asegurando entonces la convergencia entre un menor impacto ambiental y su satisfacción como consumidores.

En la literatura consultada, se encontró que se han realizado ya diferentes tipos de urnas biodegradables, utilizando materiales como bagazo de caña de azúcar y fécula de maíz y cuyo producto fue destinado para canes [9] (GONZÁLES, E. 2018).

Compañías como "Retorna: Urnas Ecológicas" producen urnas biodegradables que utilizan la fibra y cáscara de coco como uno de sus componentes, mas no como el principal.

Se ha estudiado la viabilidad de un cementerio ecológico en el artículo "Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en el vertedero clausurado de la Valle d'en Joan (Parque Natural del Garraf)" en donde se hacen comparativas de diferentes tipos de urnas en las cuales se hacen uso de componentes de coco tales como fibra y cáscara [11] (Tejedera, 2017), caso similar ocurrido en el estudio "Estudio Para El Diseño Del Cementerio Ecológico Municipal Para La Parroquia Urbana Del Cantón Milagro, Provincia Del Guayas, 2019" en donde se analizan los procesos de fabricación de diferentes tipos de urnas biodegradables que utilizan coco dentro de la materia prima [12] (Rivadeneiro, M. 2016)

Como objetivos principales, en esta investigación se contempló el poder crear un producto que pudiera resolver las problemáticas mencionadas al comienzo, y de igual manera, se lograra generar una huella ecológica mínima, produciendo una urna atractiva para el mercado y así mismo, que tuviera un nivel de dureza y de resistencia capaz de resistir el paso de los años y que lograra biodegradarse al momento de exponerse a medios naturales tales como humedad o exteriores. La finalidad de la urna biodegradable es una disposición de las cenizas en suelo o en agua, sin embargo, se busca que mantenga su estructura y características de elaboración en condiciones de humedad y temperatura normales dependiendo de la demanda del mercado. Así mismo, la urna por la naturaleza de sus materiales, puede fungir como sustrato para la siembra de un árbol, o para ser dispuesto en un nicho o centro espiritual, dando opciones a los clientes interesados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda de establecimientos en la ciudad de Colima y Villa de Álvarez, Colima que fueran aptos puntos generadores de residuos de coco de los cuales se pudiera obtener materia prima para la elaboración de los primeros prototipos. Se creó una hoja de recolección en las cuales se tomaron en cuenta criterios para evaluar la accesibilidad de la recolección tales como: la proximidad de los comercios (en la ciudad y el municipio), la afabilidad de los dueños para proporcionar la materia prima y su continua colaboración a donar el material en caso de que se volviera a requerir.

### Encuestas

Se elaboró un instrumento de recolección de datos (encuesta), posteriormente se realizó un muestreo no probabilístico y aplicó el instrumento a 30 propietarios de establecimientos de venta de productos derivados de coco en la zona conurbada de la ciudad de Villa de Álvarez y la ciudad de Colima, México, el cual fue conformada por 3 preguntas: ¿Número de cocos que se consumen?, ¿Cuál es el destino del residuo de coco? y ¿Vende el residuo, en cuanto? Dicha acción fue realizada con el fin de estimar qué tan factible sería realizar la producción de las urnas, con la finalidad de que con estos instrumentos sea posible identificar las áreas de oportunidad, así como también saber cuál es la disposición final que se les da a sus residuos.

Con el fin de conocer los servicios funerarios que se ofrecen en el mercado el estado de Colima y si dentro de estos se encontraba la opción de una urna biodegradable, se realizaron llamadas telefónicas a las siguientes empresa; Funeraria Magaña, Santoyo Funerales, La Guadalupana Casa Funeral, Funerales San Rafael, Cielo Eterno, La Paz Grupo Funerario, Latinoamericana Recinto Funeral, Dignity, Morada La Paz, Funeraria Fuentes y Agencia Funeraria García.

### Recolección de materia prima.

Una vez que fueron ubicados los puntos de recolección de fibra de coco y realizada la hoja de ruta, se procedió a hablar con los propietarios de los negocios; Don Camarón Seafood y Frutería Bodega Zarate respecto a la recolección de los residuos generados. Establecido el trato con los encargados, se procedió al acopio de desechos.

De igual manera, se acordó el poder seguir recolectando los residuos de coco con los mismos establecimientos para en un futuro poder realizar más pruebas y tener una fuente de obtención de materia prima permanente.

### Tratado de la materia prima

En base a las características de la materia prima a tratar, se decidió trabajar de manera empírica.

Los residuos fueron lavados con agua potable y con ayuda de una cuchara de metal se retiró la parte blanda restante del coco. Posteriormente, las fibras fueron colocadas en remojo en un recipiente de plástico con 6 litros de agua potable durante 5 horas, resto con el fin de ablandarlas y poder manejarlas con más facilidad.

Una vez remojada la corteza exterior, denominada epicarpio, y que tomara una textura blanda, los cocos se llevaron a una superficie plana cubierta con plástico para posteriormente, a base de golpes con martillo, poder separar las fibras que la componen.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a separar las fibras manualmente para a continuación llevarlas a una superficie plana cubierta con plástico o papel, dejándolas secarse directamente bajo el sol por un periodo de 3 horas y media en donde por intervalos de 30 minutos la fibra fue movida continuamente con la finalidad de que esta se secase por completo.

Posteriormente al secado, la fibra obtenida se cortó con tijeras en trozos de 3 cm de largo aproximadamente, para lograr obtener un material más apto para el manejo y de igual manera lograr que el producto final obtuviera una mejor textura.

### Preparación de pegamento orgánico

En busca de un pegamento que pudiera degradarse en el ambiente de manera natural, se opta por utilizar materiales de consumo humano como la harina de trigo y el azúcar, debió a sus propiedades.

Se pesaron en una báscula de cocina marca Nevir 250 gramos de harina y 83 gramos de azúcar estándar de caña los cuales se vertieron a una cazuela, se le adicionaron 5 ml de vinagre y 500 gramos de agua, los elementos mencionados fueron calentados a fuego medio hasta que estos se integraron

por completo formando una mezcla con una consistencia espesa.

**Elaboración de urna**

Una vez preparado el pegamento y cortada la fibra, se procedió a elaborar la urna. Se roció aceite en spray en manos y en un molde de plástico a utilizar, esto para que la mezcla no se pegara a las superficies. Se tomó con las manos pegamento y fibra para integrarlos de tal manera que se cree una especie de masa la cual se moldeó y adhirió al molde hasta cubrir su interior completamente, obteniendo un grosor de aproximadamente 1.5 cm en las paredes.

Al terminar de moldear, se dejó secar la urna en el exterior por 1 hora y media, después se desmoldó del recipiente y se colocó boca abajo para que la parte inferior seicara al igual por 1 hora.

Muestra de agua de río: Se tomó la muestra en el Río de Picachos ubicado en el municipio de Villa de Álvarez en el estado de Colima, México, el cual cuenta con una temperatura promedio de 23.7°C.

Muestra de agua de mar: La muestra se tomó de la playa “Las Brisas” ubicada en el municipio de Manzanillo del estado de Colima, México. Dicha playa se caracteriza por tener una temperatura anual mayor de 22°C.

**Prototipo en condiciones normales**

El prototipo de urna elaborada con la mezcla original sin el bicarbonato de sodio con 10 cm de largo y 8 cm de diámetro y con un grosor de paredes de 1.5 cm. Como se muestra en la figura 2, se dejó dentro de una habitación en condiciones normales de humedad en el estado de Colima: 30-35°C de temperatura, 30% de humedad con iluminación de 4 a 5 horas de luz de sol directa.

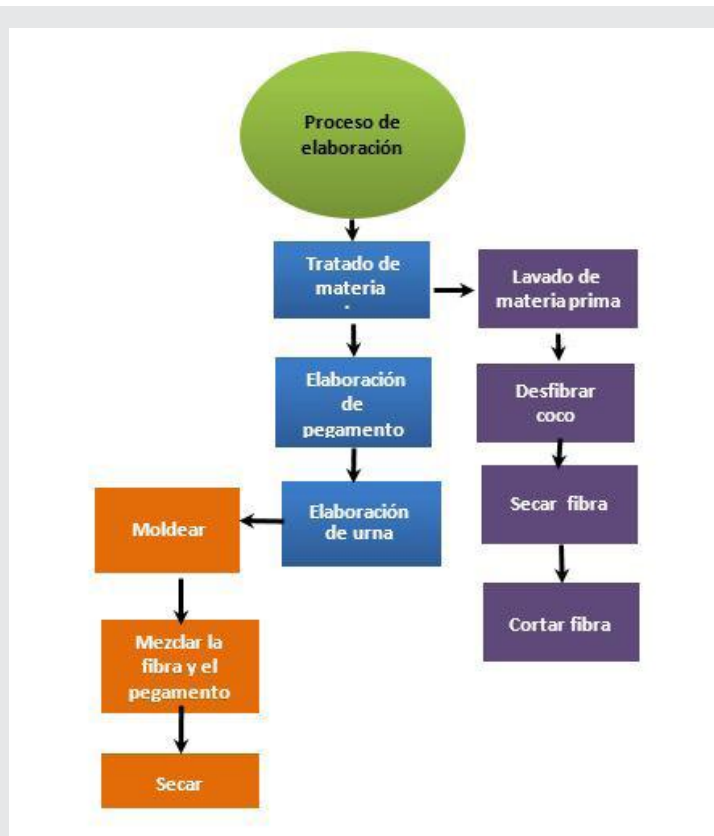


Figura 1. Diagrama de proceso de elaboración

**Toma de muestra de agua de río y agua de mar**

Se utilizaron dos recipientes de 1.5 Litros de capacidad y posteriormente se vertió agua hirviendo, esto con el fin de obtener un medio parcialmente estéril y retirar microorganismos que pudieran encontrarse en el contenedor (García Y Molinero, 2014)[13].

Se realizaron dos muestras compuestas (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010) una en un río y otra en el mar, estas se recogieron de manera puntual separadas por un intervalo fijo de tiempo[14].



Figura 2. Prototipo en condiciones normales.

**Prototipo a la intemperie con una planta de succulenta (crassula ovata)**

Un segundo prototipo preparado con la mezcla original fue puesto en la intemperie en condiciones de temperatura en un rango de 30 a 35°C, humedad de 50% y 30% de probabilidad de precipitación, se tomaron estos valores de temperatura y humedad debido a que son las condiciones comunes de la región donde se realizó el estudio. En la parte inferior del prototipo se le hicieron cinco perforaciones de 0.5 milímetros de diámetro con ayuda de un clavo, y dentro del prototipo se le colocó una planta de succulenta la cual se regó con suficiente agua dos veces por semana por un periodo de 3 meses.

**Prueba en agua de río y mar**

Se realizó una prueba de disolución con 100 gramos de fibra de coco y 400 gramos de pegamento orgánico al cual se le añadieron los 20 gramos de bicarbonato de sodio, se introdujeron dentro de dos

recipientes de plástico con una muestra de agua de río y otra muestra de agua de mar de 1,5 kg cada uno. En ambos recipientes se dejó una muestra preparada con bicarbonato de sodio en cada uno durante 2 semanas.

Se decidió hacer las pruebas de disociación considerando estas dos muestras de agua de fuentes distintas para observar el comportamiento en diferentes condiciones de agua salada y agua dulce ya que las composiciones de estas son distintas y es importante analizar el comportamiento de la materia en contacto de ambas.

## PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión con una máquina universal de 50 kN utilizando 9 prototipos con el fin de observar la capacidad con la que cuenta el material.

## RESULTADOS

En promedio se consumen 100 cocos al día en cada establecimiento. De los cuales 10 de ellos dan los residuos a los ladrilleros, 5 se los dan al proveedor, 10 lo tiran, 3 los separan y solo 2 los reciclan. Tomando en consideración un aprovechamiento promedio de 1.5 kg de estopa fresca por coco, se tiene 1,500 kg de residuo diario que se tira a la basura y no es aprovechado.

Son cinco funerarias que ofrecen urnas biodegradables en la ciudad de Villa de Álvarez y en la ciudad de Colima son la funeraria, las cuales son degradantes en agua de mar, agua dulce y tierra. De estas funerarias solo dos cuentan además con urnas de acero inoxidable, de mármol y de cerámica, mientras que tres, solo cuentan con urnas de mármol y de cerámica.

De las funerarias dos no ofrecen urnas biodegradables, cuentan con urnas de acero inoxidable, de mármol y de cerámica. Tres funerarias cuentan únicamente con urnas de mármol y de cerámica, mientras que la una cuenta con urnas de acero inoxidable, de mármol, de cerámica y de arena.

Se creó una masa a base de fibra de coco y pegamento orgánico, la cual se moldeó en forma de recipiente o maceta utilizando un molde de plástico para poder observar su capacidad estructural y variedad aplicación.

El prototipo creado fue utilizado como maceta para ornamental con la finalidad de percibir la interacción que tenía al estar en contacto con la tierra, este con dimensiones de 8 cm de diámetro, 10 cm de altura y con un grosor de paredes de 1.5 cm.

El prototipo que fue puesto dentro de la habitación en condiciones normales no mostró degradación algu-

na, al contrario, con el transcurso de los días la masa adquirió una mayor rigidez que con la que contaba al inicio.

Por otra parte, el prototipo que permaneció en la intemperie con la planta suculenta y fue sujeto al riego dos veces por semana, a los cuarenta y nueve días presentó deterioro y aparición de moho primero en la parte inferior y con el tiempo este se expandió hacia los costados, también se pudo observar ablandamiento en la estructura figura 3.



Figura 3. Degradación presentada durante las pruebas de resistencia a la humedad.

Pese a que la mezcla orgánica con bicarbonato de sodio, al igual que el prototipo puesto a la intemperie, fue expuesta al contacto con agua, la primera en mayor cantidad que la segunda, las muestras no mostraron una rápida disolución como se esperaba. Como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Prueba en agua de río. La imagen de la izquierda muestra el inicio y la imagen de la derecha al paso de 1 semana.

Al paso de una semana el agua comenzó a tomar una coloración de tono amarillento con burbujas que se quedaban en la superficie y restos de fibra en la base del recipiente. Al término de la segunda semana se

observó que la muestra ya no permanecía en la superficie, sino que esta descendió al fondo del bote de plástico, pero sin desintegrarse como se observa en la figura 5.

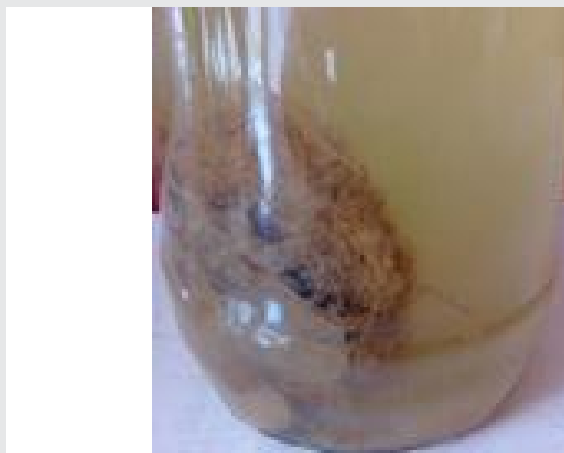


Figura 5. Prototipo expuesto en agua de río al paso de dos semanas.

En las pruebas de resistencia a la comprensión se obtuvo que en promedio los 9 prototipos presentaron una deformación al alcanzar una compresión de entre 150 y 200 kg, ya que mientras más fuerza se les aplicaban más resistencia presentaban ante la deformación. Como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Prueba de resistencia. La imagen muestra la prueba de resistencia aplicada a un prototipo de la urna.

A pesar de no incluirse en el desarrollo del trabajo el análisis del costo de producción, este se estimó en 180 pesos, ya que los materiales utilizados en su elaboración son residuos ordinarios valorizables. Sin embargo, el tiempo de manufactura de este consta de 8 horas debido a que las técnicas utilizadas son artesanales.

## CONCLUSIONES

El prototipo propuesto de la mezcla orgánica hecha a base de fibra de coco, pegamento orgánico y bicar-

bonato de sodio no cumple con las características deseadas para la dilución en agua de río y en agua de mar.

Las urnas elaboradas con la masa orgánica original muestran una estructura sólida y rígida. No obstante, al estar expuestas en el exterior con niveles moderados de humedad, estas efectúan la acción de degradación. Sin embargo, es necesario someterlas a pruebas bioquímicas debido al moho desconocido que presentaron en su exterior ya que no hay suficientes investigaciones previas sobre el uso de este material.

Es preciso el optimizar el proceso de fabricación para disminuir el tiempo de este, así como también mejorar el diseño de las urnas para que tengan un acabado más estético.

La mezcla orgánica sugerida puede tomarse como una alternativa para la aplicación en la creación de diversos productos decorativos como por ejemplo macetas.

El atacar la problemática ambiental por medio de la creación de diferentes productos a base de estopa de coco funciona como disyuntiva y al mismo tiempo, abre las puertas para poder seguir innovando con responsabilidad social en diversos prototipos gracias a la versatilidad del material utilizado.

Es necesaria la búsqueda de otros componentes para poder crear un producto con mayor valor agregado con las características de resistencia a la humedad, con una degradación que cumpla con lo deseado. Así como también realizar pruebas de resistencia con nuevos modelos que se puedan crear en un futuro, y poder hacer una comparación con los prototipos anteriores para saber si se ha mejorado la calidad del producto.

En las funerarias encuestadas ninguna cuenta con una urna mixta que pueda ser utilizada en agua, tierra y en mausoleo, por lo que cada urna es utilizada dependiendo del uso final. Por lo que queda a futura investigación el poder crear una urna ecológica mixta de larga vida en condiciones normales, capaz de degradarse en tierra y disolverse en agua en pocas horas.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Defunciones generales registradas por entidad federativa de residencia habitual de la persona fallecida según sexo, 2010 a 2017. Ciudad de México.*

[2] Velasco, A. y Minota, Y. (2011). *Evaluación por contaminación en suelos aledaños a los cementerios jardines del recuerdo e inmaculada. Ciencia e ingeniería neogranadina, 165-175.*

[3][4][5] Rodríguez, E. D. (2018). *Tratado de Incineración Humana*. Bloomington, EE.UU: Palibrio .

[6][8] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. (SAGARPA). (2017). *Palma de coco mexicana*. Ciudad de México.

[7] Delegación SADER Colima. (2018). *Colima, tierra de cocos y palmeras*. México.:Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/colima-tierra-de-cocos-y-palmeras?idiom=es>

[9] Quintero, S. y González, L. (2006). *Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto*. *Ingeniería y Desarrollo*, 134 -150.

[10] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Ciudad de México.

[11] Tejedera, K. (2017). *Propuesta de implantación de un cementerio ecológico en el vertedero clausurado de la Vall d'en Joan (Parque Natural del Garraf)*.(Trabajo final de grado). Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Barcelona.

[12] Rivadeneira, M. (2016). *Estudio para el diseño del cementerio ecológico municipal para la parroquia urbana del Canton milagro, provincia del Guayas, 2019*. (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

[13] García, G. M., & Molinero, L. M. (2014). *Formulación Magistral*. Madrid, España: Paraninfo.

[14] Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales or medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Diseño y desarrollo de un módulo del estudiante de un sistema tutor inteligente, mediante la detección del estado de conocimiento y estilo de aprendizaje basado en redes bayesianas

**RESUMEN:** En este artículo, se plasma el trabajo interdisciplinario de la Maestría en Sistemas Computacionales con apoyo del CONA-CyT, impartida en el Instituto Tecnológico de Acapulco. El artículo tiene por meta presentar el diseño del módulo de la herramienta de un sistema tutor inteligente para la detección de estilos de aprendizaje mediante la utilización de Redes Bayesianas, que dará pauta al posterior desarrollo y codificación del módulo de dicha herramienta, la cual está enfocada a la asignatura de Investigación de Operaciones de los alumnos de la Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Acapulco. Se busca obtener como resultado la correcta clasificación de una muestra de 30 estudiantes, en los diferentes tipos de aprendizaje, para posteriormente la academia encargada de impartir esta asignatura pueda implementar estrategias al temario de dicha asignatura y disminuir el índice de reprobación de la misma, debido a que actualmente esta y otras asignaturas han presentado un índice de reprobación del 40% en semestres anteriores a este.

**PALABRAS CLAVE:** Investigación de Operaciones, Sistema Tutor Inteligente, Estado de Conocimiento, Estilos de Aprendizaje.



## Colaboración

Sayuri Vianney De la cruz Ramos; Miriam Martínez Arroyo; José Antonio Montero Valverde; Eloy Cadená Mendoza, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Acapulco

**ABSTRACT:** In this article, the interdisciplinary work of the Master in Computational Systems with support from CONA-CyT, taught at the Instituto Tecnológico de Acapulco, is reflected. The article aims to present the design of the tool module of an intelligent tutoring system for the detection of learning styles through the use of Bayesian Networks, which will guide the subsequent development and coding of the module of said tool, which is focused to the subject of Numerical Methods of the students of the Bachelor of Engineering in Computer Systems of the Technological Institute of Acapulco. It is sought to obtain as a result the correct classification of a sample of 30 students, in the different types of learning, so that later the academy in charge of teaching this subject may be able to implement strategies to the agenda of said subject and reduce the rate of failure of it, due to the fact that currently and other subjects have presented a 40% failure rate in semesters prior to this.

**KEYWORDS:** Operations research, Intelligent Tutor System, State of Knowledge, Learning Styles.

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Tutores Inteligentes, son programas de computadora cuya tarea principal es sistematizar el conocimiento pedagógico e incluso modelan los estados psicológicos, nivel de conocimiento, características, gustos y preferencias de los estudiantes para proporcionarles instrucción individualizada.

Los sistemas tutores inteligentes son programas de computadora cuya tarea principal es sistematizar el conocimiento pedagógico. Según la definición de Van Lehn, un sistema inteligente "es un sistema de software que utiliza sistemas inteligentes para asistir al estudiante que requiere de un tutorizado uno a



uno y lo guía en su aprendizaje, adicionalmente posee una representación del conocimiento y una interfaz que permite la interacción con los estudiantes para que puedan acceder al mismo” [1].

Una red bayesiana, red de Bayes, red de creencia, modelo bayesiano o modelo probabilístico en un gráfico acíclico dirigido es un modelo gráfico probabilístico (un tipo de modelo estático) que representa un conjunto de variables aleatorias y sus dependencias condicionales a través de un gráfico acíclico dirigido (DAG por sus siglas en inglés).

Por ejemplo, una red bayesiana puede representar las relaciones probabilísticas entre enfermedades y síntomas. Dados los síntomas, la red puede ser usada para computar las probabilidades de la presencia de varias enfermedades. [2].

En el presente trabajo se muestra un entorno virtual, donde los estudiantes adquieren las herramientas necesarias para incrementar y mejorar su aprovechamiento escolar en la materia de Investigación de Operaciones.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

La metodología utilizada en este trabajo es SCRUM la cual se muestra en el siguiente esquema de la figura 1. SCRUM. Es una metodología para gestionar el desarrollo de software, cuyo principal objetivo es maximizar el retorno de la inversión para su empresa (ROI). Se basa en construir primero la funcionalidad de mayor valor para el cliente y en los principios de inspección continua, adaptación, auto-gestión e innovación.

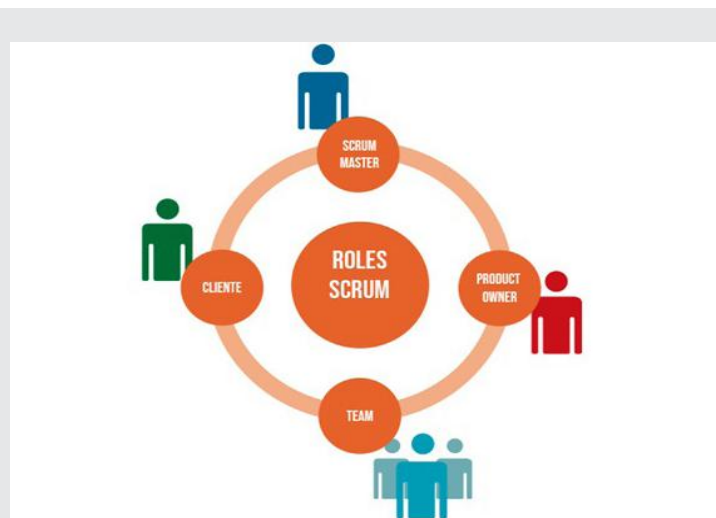


Figura 1. Diagrama de SCRUM

**Modelado de Negocios**

El Modelo de Negocios es un mecanismo por el cual un negocio busca generar ingresos y beneficios. Que planifica servir a sus clientes, esto implica el concepto de estrategia como el de la implementación.

Este describe los procesos que realiza el Software. La descripción de los procesos del modelado de negocios se enlista de la siguiente manera:

- Diagnosticar los Estilos de aprendizaje: Se evalúa al estudiante a través de un Test, conformado por una serie de preguntas que detectan el Estilo de aprendizaje.
- Mostrar el Estilo de aprendizaje obtenido: Se muestra el Estilo de aprendizaje obtenido como resultado del Test.
- Avanzar hacia el segundo Test (Perfil Psicossociológico): Una vez detectado el Estilo de aprendizaje y obtenido el resultado, se avanza al siguiente Test que es el del Perfil Psicossociológico.
- Evaluar el Perfil Psicossociológico y obtener el resultado: Se realiza el Test y se obtiene el resultado de alguna de las Inteligencias Múltiples.
- Realizar el último Test (Estado de Conocimiento): Se detecta el Estado de conocimiento previo que el estudiante tiene con respecto a la materia y se obtiene el Nivel diagnosticado.

**Estilos de Aprendizaje**

Los Estilos de aprendizaje permiten presentar un conocimiento o información a los estudiantes, adaptado a sus gustos y preferencias, es decir; enfocado al método o estrategia de aprendizaje que se le facilita más a cada persona.

Para el presente proyecto, en primer lugar, se detectan los Estilos de aprendizaje a través de un Examen de diagnóstico basado en el Modelo de aprendizaje de VAK (Bandler y Grinder), tal como se muestra en la Tabla 1. El test consta de una serie de preguntas que proporcionan información al final para saber si la persona es Visual, Auditiva o Kinestésica.

Tabla 1. Modelo de estilos de aprendizaje VAK (Visual-Auditivo-Kinestésico).

SISTEMA	CARACTERÍSTICAS
Visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizado.</li> <li>• Ordenado.</li> <li>• Observador.</li> <li>• Aprende lo que ve.</li> </ul>
Auditivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprende mejor cuando recibe explicaciones oralmente y cuando puede hablar y explicar esa información a otra persona.</li> </ul>
Kinestésico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprende lo que experimenta directamente, aquello que involucra movimiento.</li> </ul>

La Red Bayesiana que define los Estilos de aprendizaje, se representa de la siguiente manera figura 2.

**Estado de Conocimiento**

La que se muestra en la figura 3 es la RB que determina el Estado de conocimiento. Este se define por la cantidad de aciertos obtenidos en el Test que está conformado por preguntas relacionadas a la materia de Investigación de Operaciones. Los niveles de

conocimiento serán: Nivel Principiante, Nivel Medio y Nivel Avanzado.

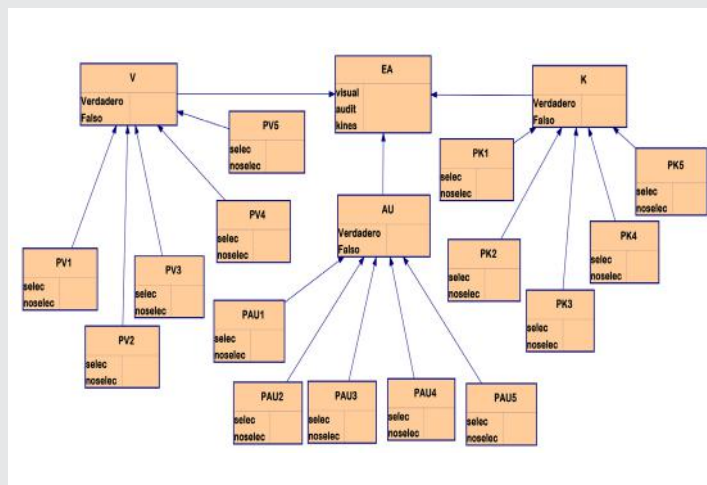


Figura 2. Red Bayesiana de los Estilos de Aprendizaje.

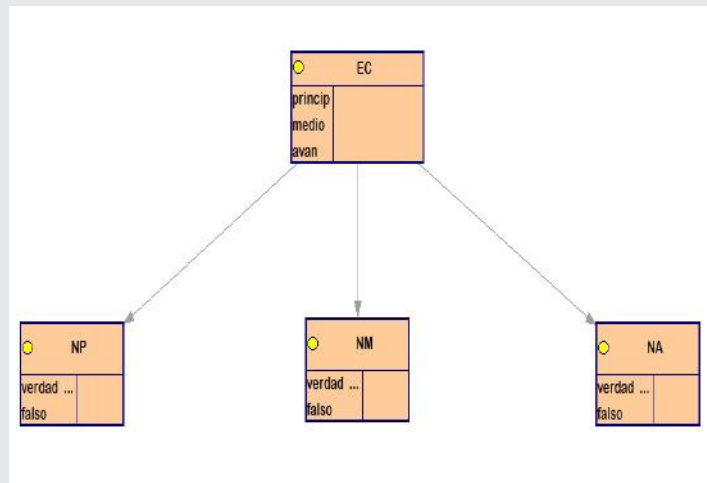


Figura 3. Red Bayesiana del Estado de Conocimiento.

Las variables de la RB del Estado de Conocimiento están definidas como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Nomenclatura de la RB del estado de conocimiento

Nombre de la variable	Nomenclatura	Valores cualitativos	Valores cuantitativos
Estado de Conocimiento	EC	princip, medio, avan	
Nivel Principiante	NP	verdadero, falso	1-5 aciertos
Nivel Medio	NM	verdadero, falso	5-10 aciertos
Nivel Avanzado	NA	verdadero, falso	10-15 aciertos

## Trabajos relacionados

Existen diversos tutores inteligentes, así como diferentes trabajos relacionados en esta área. Al res-

pecto, Cataldi y Lage (2010), en Modelado del Estudiante en Sistemas Tutores Inteligentes, proponen un sistema adaptable, de acuerdo a las características, gustos, preferencias y estilos de aprendizaje del estudiante, mediante una enseñanza y aprendizaje interactivo. Propone redefinir los componentes básicos y las interfaces del Modelo del Estudiante, según esto, debido a su importancia y a que esto puede servir para que este módulo derive en funcionalidades independientes al Sistema en general.

Para el desarrollo de este proyecto se tomó en cuenta el utilizar las ideas de Gardner de su Teoría de las inteligencias múltiples, la cual propone ocho tipos de inteligencia distintas: Inteligencia lingüístico-verbal, Inteligencia lógico-matemática, Inteligencia espacial o visual, Inteligencia musical, Inteligencia corporal-kinestésica, Inteligencia intrapersonal, Inteligencia interpersonal e Inteligencia naturalista. Esta teoría nos servirá para determinar el estado psico-sociológico del estudiante, ya que determinará el potencial y características significativas de cada individuo, que reflejan sus fortalezas y debilidades. Esto ayudará debido a que no todos los individuos aprenden de la misma manera y esto permitirá al sistema realizar aún mejor su función de adaptabilidad.

Otro ejemplo de un Sistema Tutor Inteligente es PCMAT, Martins, et al. (2011), Mathematics Collaborative Educational System, que forma parte del trabajo de Peña Ayala (2013), Intelligent and Adaptive Educational-Learning Systems: Achievements and Trends. PCMAT es un Sistema Educativo Adaptativo, basado en una evaluación progresiva, la cual se realiza a partir de la detección de las características y estilo de aprendizaje del estudiante. La detección del estilo de aprendizaje se lleva a cabo a partir de las Estrategias de VARK, que son un Modelo desarrollado como instrumento para determinar la preferencia de los alumnos al procesar la información desde el punto de vista sensorial, no hablan de fortalezas, sino de preferencias sensoriales.

De manera general las características de las ventajas de usar redes bayesianas como implementación de método son:

Las redes bayesianas permiten representar, al unísono, la dimensión cuantitativa y cualitativa de algún aspecto de la realidad [3]. Esta ventaja se ha visto potenciada en los últimos años por el aumento de la potencia de cálculo que han experimentado las computadoras y por el desarrollo de algoritmos de propagación de probabilidades que optimizan los recursos.

Una de las ventajas más importantes de las redes bayesianas es que pueden trabajar con datos perdidos [4]. Esta cualidad es muy importante en el contexto

de la investigación aplicada donde es muy difícil obtener ficheros o bases de datos donde no existan datos perdidos. También permiten reducir el sobreajuste de los datos [3], y combinar el conocimiento previo que tenemos respecto al problema de estudio con datos experimentales [5].

La ventaja que tienen las redes bayesianas como sistemas expertos frente a los sistemas expertos clásicos basados en reglas es que todo el conocimiento del sistema se representa en un único formato (gráfico y probabilístico), lo que hace sencillas las interpretaciones [6]. Por otro lado, cuando construimos una red bayesiana a partir del conocimiento de un experto para usarla en la orientación ante la toma de decisiones, la asignación de probabilidades es más sencilla [7].

Al revisar un marco teórico de sistemas y aplicaciones tomamos en cuenta los errores o las experiencias de usuarios que se topado en el transcurso de las pruebas para poder buscar un método que sea adaptivo y nos pueda brindar un panorama más amplio en la clasificación de los estilos de aprendizaje, ya que en el transcurso de esta evaluación nos podemos encontrar una gran cantidad de combinaciones para poder llegar al resultado final, pero gracias a las redes bayesianas podemos hacer un filtrado más selectivo y rápido, sin necesidad de estar saturando al usuario con una serie de preguntas extras, ya que esto nos podría arrojar resultados erróneos por que el usuario solo por querer terminar el test conteste lo que más le convenga y no lo que realmente debería responder.

Las herramientas utilizadas para este trabajo fueron las siguientes:

- Visual Studio Community 2019.
- Enterprise Archited
- Laptop Acer con sistema operativo Windows 10 a 64 bits, 8 gigas de memoria RAM y procesador Intel Core i7.

## RESULTADOS

Una vez estructuradas las Redes Bayesianas principales de los Test, en primer lugar, se genera la Evaluación de los Estilos de aprendizaje. Ya que se ha detectado el Estilo de aprendizaje al que pertenece el estudiante, lo siguiente es detectar el Estado de Conocimiento, lo cual sería la próxima fase. Por el momento el proyecto continúa realizándose, para llegar a los resultados finales; presentando aquí sólo la primera fase de la Detección.

El prototipo del software hasta ahora desarrollado, tiene como pantalla principal una ventana en la cual se muestra un login de inicio en el que se debe ingresar un usuario y una contraseña, que una vez va-

lidados los datos de usuario nos da acceso a la pantalla principal donde se comienza el primer test. Las preguntas del primer test se limitan a contestar SI o NO en cada una de los cuestionarios. En la figura 4 se muestra un ejemplo del test de diagnóstico.

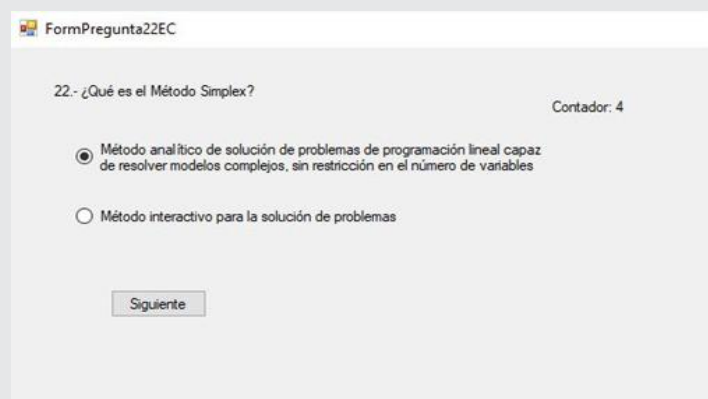


Figura 4. Test de diagnóstico de los Estilos de Aprendizaje.

Ya que se han respondido todas las preguntas del Test, el programa arroja el resultado obtenido en alguno de los canales de aprendizaje. En la figura 5 se muestra un ejemplo de los resultados posibles a obtener en el cual el resultado es el canal de aprendizaje Visual:



Figura 5. Uno de los posibles resultados al terminar el test de Estilos de aprendizaje.

El paso a seguir es realizar el test para la detección del estado de conocimiento, que está conformado por preguntas aleatorias de la materia de Investigación de operaciones. En la figura 6 se muestra un ejemplo del test realizado para esta sección:

Al igual que el primer test, el de detección de estado de conocimiento muestra un resultado final al terminar de responder todas las preguntas del mismo, dependiendo de las respuestas respondidas correctamente. En la figura 7 se muestra uno de los posibles resultados:



Figura 6. Pregunta del test de estado de conocimiento.

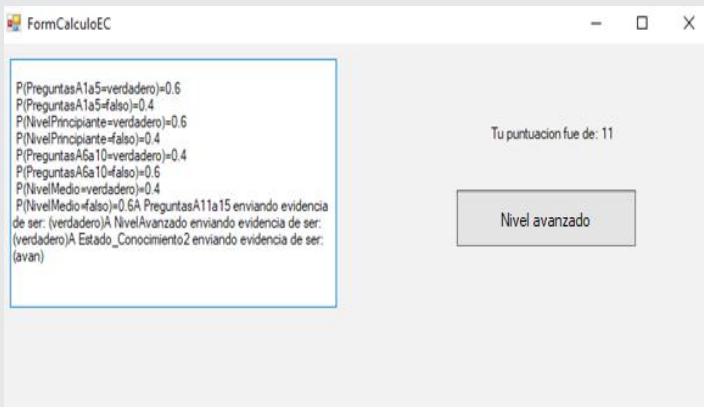


Figura 7. Resultado probable obtenido de realizar el test del Estado de conocimiento.

## CONCLUSIONES

Se clasificaron de forma correcta los tipos de estado de conocimiento y el estilo de aprendizaje de la población de alumnos de nivel Licenciatura mediante la aplicación de Redes Bayesianas como instrumento de diagnóstico y clasificación para esta investigación.

Una vez que se pudo granular la muestra de estudiantes se dirigió al área académica encargada de la asignatura para poder implementar estrategias en su temario de acuerdo a los resultados obtenidos.

Debido a la sencilla representación gráfica y probabilísticas, se facilita la interpretación de los resultados obtenidos de esta muestra, y con la ayuda de la construcción de las redes bayesianas descritas, se puede utilizar como trabajo a futuro para un Sistema Tutor Inteligente enfocado a cualquier otra materia en específico adaptando los test que utilizamos en esta investigación, a las preguntas necesarias para diagnosticar la materia solicitada.

Este trabajo es una referencia de la tesis que lleva de nombre Diseño del Módulo del estudiante de un

sistema tutor inteligente de autoría propia, en la cual se plasmas los resultados de la evaluación realizada en el semestre inmediato anterior a este. En el cual se realizó esta evaluación a la muestra de alumnos mencionados en el artículo respecto a la materia de Investigación de operaciones.

En dicho trabajo se mostraron anexos de las evaluaciones donde se toma a la población que tiene un 40% de reprobación y al finalizar el test y poder adaptar un temario de acuerdo a su estilo de aprendizaje se logra un objetivo del disminuir este índice de reprobación en un 50%, con el cual comprobamos que es favorable la clasificación de estos estudiantes mediante el modulo creado.

El programa desarrollado es un trabajo de apoyo a la academia para ayudar a elevar los índices de aprobación en dichas asignaturas de foco rojo. A la vez es un trabajo en conjunto con ellas ya que nuestra herramienta solo clasifica a la población para poder brindar una mejora en la forma en que el estudiante está recibiendo y procesando la información. Al final la academia es la que decide cómo aplicar las herramientas y métodos que estas a disposición para llevar a cabo estas medidas correctivas de la asignatura.

Como trabajo a futuro se pueden realizar crear diversos módulos enfocados a las materias que están teniendo un índice de reprobación alto, esto se puede hacer debido a la ventaja de que nuestro modulo es adaptable a las asignaturas en las que se cargue el estado de conocimiento previo en él.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. VanLehn, K (1988). *Student Modelling*. M. Polson. *Foundations of Intelligent Tutoring systems*. Hillsdale. N.J. Lawrence Erlbaum Associates.
- [2]. O'Leary, D.E. (2008) *Expert Systems*, Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering.
- [3]. Heckerman, D. (1995). *A tutorial with bayesian networks (Tech. Rep. MS-TR-95-06)*. Redmon, WA: Microsoft Corporation.
- [4]. Nadkarny, S., y Shenoy, P. P. (2001). *A bayesian network approach to making inferences in causal maps*. *European Journal of Operational Research*, 128, 479- 498. doi:10.1016/S0377-2217(99)00368-9
- [5]. Pearl, J. (2001). *Bayesian networks, causal inference and knowledge discovery (Tech. Rep. R-281)*. Los Angeles: University of California, Computer Science Department.
- [6]. Edwards, W. (1998). *Hailfinder. Tools for and experiences with bayesian normative modeling*. Ame-

*ican Psychologist*, 53, 416-428. doi: 10.1037/0003-066X.53.4.416

[7]. P. Jarusek y R. Pelanek (2012), *A web-based problem solving tool for introductory computer science. Proceedings of the 17th ACM anual conference on Innovation and technology in computer science education. Peña Ayala Alejandro, 2013, Intelligent and Adaptive Educational-Learning Systems: Achievements and Trends.*



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# JLEFO: una herramienta para el aprendizaje de lenguajes y autómatas



## Colaboración

Ofelia Gutiérrez Giraldi; Martha Martínez Moreno; Jose Carlos Xolio Xolio; Margarito Hernández García; Alexis Salazar Viveros, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz.

**RESUMEN:** El grado de complejidad que presenta la teoría de Lenguajes Formales y Autómatas, generó el interés de los profesores del área de sistemas y computación de crear una herramienta que permitiera a los estudiantes plantear soluciones a problemas relacionados con el tema, enfocándose en estructuras con Autómatas Finitos y Expresiones Regulares y generar así un aprendizaje significativo.

A pesar de que existen otros softwares similares, a las necesidades que los estudiantes requieren.

En la implementación se utilizaron metodologías de desarrollo ágil y de programación: Extreme Programming y MVC respectivamente y como lenguaje de programación Java. El resultado fue una herramienta de aspecto minimalista, simple, eficiente y de gran utilidad a través de la visualización de datos importantes para el estudiante, aportando más información que sustenta su aprendizaje.

**PALABRAS CLAVE:** Autómatas Finitos, Expresiones Regulares, Extreme Programming, Java, Lenguajes Formales, MVC.

**ABSTRACT:** The theory of formal languages and automata is part of the academic training of a computer systems engineer. In the subject of Languages and Automata I (specialized in this area) that is taught in the ITVer, the students present difficulties to raise the solution of problems related to the subject, so they thought about the development of software for the solution of structures with Finite automata and regular expressions and thus generate meaningful learning.

Although there is other similar software, highlighting JFLAP, none adapts to the needs of the students.

In its implementation, agile development and programming methodologies were used: Extreme Programming and MVC respectively and as a Java programming language. The result was a minimalist, simple, efficient and very useful tool through the visualization of important data for the student, providing more information to support their learning.

**KEYWORDS:** Extreme Programming, Finite Automaton, Formal Languages, Java, MVC, Regular Expressions.

## INTRODUCCIÓN

En el ITVER (Instituto Tecnológico de Veracruz) se imparte la materia de Lenguajes y Autómatas I como parte de la retícula de la carrera Ingeniería en Sistemas Computacionales. Dado el grado de dificultad de la misma, los estudiantes presentan problemas para plantear soluciones a través de la aplicación de estructuras matemáticas que resuelvan los ejercicios relacionados con autómatas finitos deterministas y expresiones regulares; los problemas principales son el rastreo de cadenas, diagramas incompletos y comprensión del flujo del diagrama.

Considerando los objetivos de la investigación se realizó un análisis del entorno en el contexto de la generación de lenguajes formales, se hizo un análisis de distintas herramientas existentes (se encontró que ninguno cubre las necesidades actuales de los estudiantes) y se diseñó el lenguaje específico para la interpretación de las estructuras; justificando el desarrollo de una herramienta propia para la materia. El software se realizó bajo el lenguaje Java y en la construcción del proyecto se utilizaron dos metodologías: desarrollo ágil Extreme Programming y desarrollo software MVC (Modelo Vista Controlador) aportando los resultados deseados y una estructura interna sólida para posteriores integraciones.

JLEFO cuenta con una interfaz atractiva e incluye los siguientes tres módulos:

- AFD (Autómatas Finitos Deterministas)
- AFND (Autómatas Finitos No Deterministas)
- e.r.'s (Expresiones Regulares)

Como resultado se obtuvo una herramienta funcional, que muestra los datos necesarios comprendidos en el margen de conocimientos impartidos en la materia; así, a través de pruebas de conocimientos sin la herramienta y con su utilización, se obtuvo un porcentaje incremental en los índices de aprovechamiento reflejándose en un aprendizaje significativo en los estudiantes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo y gestión del proyecto fue XP (Extreme Programming) considerada de desarrollo ágil.

XP es una de las llamadas metodologías ágiles de desarrollo de software más exitosas de los tiempos recientes. Está diseñada para entregar el software que los clientes necesitan en el momento en que lo requieren. XP alienta a los desarrolladores a responder a los requerimientos cambiantes de los clientes, aún en fases tardías del ciclo de vida del desarrollo. [1]

Esta metodología se compone por cuatro fases:

**Planificación:** Fase inicial de la metodología XP, donde se establece una comunicación continua entre el equipo de desarrollo y el cliente para obtener principalmente los requisitos del sistema. Además, permite establecer el alcance del proyecto y fechas de entrega del sistema, tomando en cuenta la prioridad y tiempo estimado para el desarrollo de cada historia de usuario. [2]

**Diseño:** Fase en la cual se crean estándares y patrones para realizar la codificación, de esta forma se obtiene un código más eficiente, con calidad y comprensión para todos los involucrados en el desarrollo.

**Desarrollo:** En esta fase se lleva a cabo toda la codificación del sistema siguiendo los estándares y patrones definidos en la fase dos, por lo cual los programadores

ejecutan las Historias de Usuario mediante tareas de ingeniería hasta cumplir con cada una de ellas.

**Pruebas:** Última fase y piedra angular de la metodología XP, en ella se le da seguimiento al desarrollo del sistema mediante la implementación de pruebas unitarias, garantizando el menor número posible de errores al finalizar la construcción del proyecto.

Utilizar XP brindó al desarrollo la capacidad de minimizar los errores a través de la programación por pares, cumplir con las metas u objetivos del proyecto más relevantes, reducir los tiempos de programación, producir versiones funcionales y adaptación rápida a los cambios surgidos durante el desarrollo.

Como parte del desarrollo del software, se utilizó el patrón de diseño de software MVC (Modelo Vista Controlador) que es un estilo de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control en tres componentes distintos. [3]

\*El Modelo que contiene una representación de los datos que maneja el sistema, la lógica de negocio y los mecanismos de persistencia.

\*La Vista o interfaz de usuario, que compone la información que se envía al cliente y los mecanismos de interacción con éste.

\*El Controlador, que actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando el flujo de información entre ellos y las transformaciones para adaptar los datos a las necesidades de cada uno.

Utilizar el patrón MVC produjo una estructura sólida y orden lógico en el código, además de combinar su utilidad con el lenguaje de programación utilizado (Java).

### Producción del ejecutable

De acuerdo a la metodología XP, en cada meta alcanzada se realizaron pruebas de funcionalidad, siendo necesaria la producción de un ejecutable para aplicarlas a la herramienta. Para lo anterior se utilizaron aplicaciones como Netbeans, Launch4j, Inno Setup Compiler.

Utilizando como entorno de desarrollo la aplicación de Netbeans se generó un archivo JAR, posteriormente a través de Launch4j se convirtió a un archivo EXE y se indicó la versión del JRE necesaria para su ejecución, una vez obtenido el archivo EXE con la ayuda de Inno Setup Compiler se realizó el instalador a través de un script para generar un ejecutable de la aplicación que se pudiera lanzar en el sistema operativo Windows.

### Desarrollo

La primera parte del desarrollo consistió en diseñar las interfaces de la herramienta de una manera que el usuario no perdiera de vista ninguna de las opciones disponibles, bajo



el típico modelo de un programa con una barra de menú, barra de herramientas, menús de opciones y un área de canvas. Ese concepto de interfaz fue programado y añadido a un nuevo paquete del proyecto denominado "Vista" haciendo alusión a MVC.

Posteriormente se definen los modelos como lo dicta MVC, siendo los datos propios de la herramienta que se ponen a disposición del usuario, definidos por estados y transiciones propios de un diagrama AFD y AFND. En este punto se crea el paquete "Modelo" que almacén ó dichas clases.

Para completar el patrón de diseño MVC se definieron los controladores, encargados de todas las operaciones de la herramienta. Un controlador corresponde a cada una de las interfaces creadas, dando lugar a la creación del paquete "Control".

**Análisis de cadenas**

La función principal de la herramienta es el rastreo de las cadenas aceptadas por las estructuras definidas por el usuario; la teoría que sustenta este análisis es la Tabla de Transiciones la cual es representada por una matriz que describe las transiciones de los estados con los elementos del conjunto del alfabeto, incluyendo los que tienen como elemento de transición épsilon, además de indicar los estados finales o estados de aceptación del diagrama. La lectura de este tipo de tabla depende de la cadena de entrada y la función de transición dada por el diagrama, por ejemplo, si tenemos una cadena binaria "101" que corresponde al alfabeto  $\Sigma = \{1,0\}$  en un diagrama de transiciones con la siguiente tabla de transiciones. Tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo de tabla de transiciones.

Q	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	F
q0	q1	q1	-
q1	q0	q1	F

Para saber si la cadena es aceptada o rechazada el recorrido comienza por el primer estado de transición "q0", se toma el primer carácter de la cadena "101" y a través de la función de transición se verifica a qué estado se debe realizar la transición con ese "1", para este ejemplo la transición es hacia "q1", ahora el nuevo estado para consumir otro elemento de la cadena es "q1"; este proceso es repetitivo hasta consumir toda la cadena y determinar si el estado donde finalizó la cadena es un estado final, en el ejemplo expuesto la cadena es aceptada por el estado final "q1". Este proceso se programó en una clase controladora del módulo AFD y es de suma importancia para los demás módulos.

**Módulo AFD**

Este módulo está orientado a la solución de Autómatas Finitos Deterministas, en este se puede crear desde cero un diagrama de transiciones y editarlo las veces que el usuario lo considere necesario. Una vez termi-

nado el diagrama el usuario puede testear el diagrama; para este proceso se utilizó el método de análisis de cadenas antes descrito, además de complementarlo con un archivo de texto plano donde se almacenaron cadenas binarias de un carácter hasta nueve caracteres, estas sirven como cadenas de prueba que el usuario no se preocupa por generar manualmente. Como resultado de este proceso de muestran las cadenas que fueron aceptadas y rechazadas por el diagrama de transiciones.

Además, al obtener las cadenas aceptadas y rechazadas por el diagrama, el usuario puede seleccionar una cadena y visualizar en el diagrama como, carácter a carácter, el autómata consume cada uno de ellos. Para lograr esto se implementó el algoritmo Backtracking utilizado en el rastreo de AFND que se describe en la sección siguiente.

Este módulo brinda una opción de conversión del diagrama actual a una e.r. equivalente a través de la implementación del método algebraico de Brzozowski, el cual plantea que a través de la solución de un sistema de ecuaciones lineales obtenidas a partir del diagrama podemos obtener una ER.

Este método toma un único enfoque para generar una expresión regular. Plantea un sistema de ecuaciones (expresiones regulares) para cada estado en un AFD. Se resuelven las ecuaciones para  $R_a$  donde  $R_a$  es la expresión regular asociada con el estado inicial  $q_n$ . Para cada estado  $q_n$  en un AFD la ecuación para  $R_1$  es la unión de los términos. El sistema de ecuaciones toma la siguiente forma. Figura 1.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= a_1 R_1 + a_2 R_2 + \dots \\
 R_2 &= a_1 R_1 + a_2 R_2 + a_3 R_3 + \dots \\
 R_m &= a_1 R_1 + a_2 R_2 + \dots + \dots \epsilon
 \end{aligned}$$

Figura 1: Formulación del sistema de ecuaciones del método algebraico de Brzozowski.z

$\epsilon$  es añadido si  $R_m$  es un estado final o de aceptación. [4]

El sistema puede ser resuelto por sustitución directa, excepto cuando la misma incógnita aparece a la derecha, izquierda o ambos lados de la ecuación. Esta situación ocurre cuando existe un ciclo hacia el mismo estado  $q_n$ . El teorema de Arden es la llave para resolver esta situación. El teorema es el siguiente:

"Dada una ecuación de la forma  $X = AX + B$ , la ecuación tiene una única solución  $X = A^*B$ ".

Se utiliza el teorema para aislar Ra del lado izquierdo y así sucesivamente, sustituyendo Ra dentro de otra ecuación. Este proceso se repite hasta que se encuentra Rm sin incógnitas en ambos lados de la ecuación. [5] Este método se programó dentro del paquete “funciones” para aislar procesos específicos de funciones recurrentes o comunes.

### Módulo AFND

Este módulo está dedicado a la solución y análisis de Automatas Finitos No Deterministas. El funcionamiento de un AFND es muy similar al de un AFD. Sin embargo, mientras en un AFD sólo existe una posible acción para cada símbolo del alfabeto de entrada, en los AFND hay que considerar todos los casos en cada estado, ya que permiten cero, una o más transiciones de salida de un estado para el mismo símbolo del alfabeto de entrada.

Debido a que en programación tiene gran dificultad el manejo del indeterminismo de estas estructuras, para poder realizar el proceso de análisis de cadenas la herramienta internamente realiza una conversión a AFD; para dicha conversión se utiliza el método de construcción de tabla de subconjuntos que se observa en la Tabla 2. Considerando que, en la tabla de transiciones de un AFND, cada entrada es un conjunto de estados y que en la tabla de transiciones de un AFD, cada entrada es tan solo un estado, se comenzó por:

1. Construir la Tabla de Subconjuntos en base a la Tabla de Transiciones que consta de tres columnas, donde cada una está etiquetada la primera con Q que son los estados, las otras dos con un símbolo del alfabeto de entrada y cada fila se etiqueta con un conjunto de estados.
2. La primera fila se etiqueta con {q0}, estado inicial, y en cada entrada de la tabla [q0, Si] se almacena  $f(q0, Si) = \{q0, q1, \dots, qn\} = P$  que son los subconjuntos de estados.
3. Se etiqueta cada fila con cada uno de los conjuntos P que no tengan asociada una fila en la tabla (es decir, con cada uno de los conjuntos P que aparezcan por primera vez en la tabla) y se completa cada una de estas filas con el correspondiente  $f(P, Si)$ .
4. El paso 3 se realiza hasta que no haya en la tabla conjuntos P sin filas asociadas.
5. Por último, se asocia a cada conjunto P que aparezca en la tabla un estado en el nuevo AFD y aquellos que tengan entre sus componentes algún estado final del AFND se considerarán estados finales en él AFD. [6]

Tabla 2. Tabla de subconjuntos

Q	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	F
{q0}	{q0, q1}	{q0}	-
{q0, q1}	{q0, q1}	{q0, q2}	-
{q0, q2}	{q0, q1}	{q0}	F

Al realizar este procedimiento se tiene la funcionalidad en la herramienta de poder obtener la conversión de un AFND a su equivalente AFD.

Una funcionalidad más con la que cuenta este módulo es la de poder visualizar el rastreo de cadenas sobre el diagrama; para lograr dicho propósito fue necesario la implementación del algoritmo Backtracking (o búsqueda con retroceso) que es una técnica de recursión intensiva para resolver problemas por etapas, que utiliza como árbol de decisiones la propia organización de la recursión. Cuando se “avanza” de etapa se realiza una llamada recursiva y cuando se “retrocede” lo que se hace es terminar el correspondiente proceso recursivo, con lo que efectivamente se vuelve al estado anterior por la pila de entornos creada en la recursión. Como el árbol de decisiones no es una estructura almacenada en memoria, se dice que el Backtracking utiliza un árbol implícito y que habitualmente se denomina árbol de expansión o espacio de búsqueda.

Se implementó para realizar el rastreo de una cadena sobre el diagrama del autómata construyendo posibles soluciones candidatas de manera sistemática desde el estado inicial hasta un estado de aceptación o no aceptación indicando una vez que se tienen todas las posibles soluciones se puede realizar el rastreo en el diagrama cambiando de color los elementos estados y transiciones de acuerdo a la simbología establecida como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Simbología de rastreo.

### Módulo e.r.'s

Este módulo se enfoca en la solución de expresiones regulares, es decir, el usuario puede ingresar la expresión regular que desee bajo el lenguaje definido de 0, 1 o ambos y decidir si quiere analizar la expresión o simplemente convertir la e.r.'s a un AFD equivalente. Si el usuario decide realizar la conversión se proporciona una opción de guardado para que posteriormente pueda abrir ese archivo en el módulo de AFD.

Para analizar qué cadenas acepta o rechaza la e.r. ingresada el módulo utiliza el método de análisis de cadenas pero primero es necesario convertir la e.r. a un AFD equivalente, debido a que no existe una manera directa de obtener una tabla de transiciones a partir de una expresión regular, por lo tanto para lograr el análisis

se realiza la conversión de la e.r. a un AFD equivalente internamente, es decir, se reemplaza el análisis de la expresión regular por el análisis del AFD que resulta de la conversión.

Para construir un AFD directamente a partir de una expresión regular existen varios métodos, unos más complejos que otros, pero para este caso se optó por el método de construcción de árboles sintácticos y método de subconjuntos respectivamente. Estos métodos requieren que la expresión regular sea extendida, es decir, que al final de la expresión se añade un símbolo que indique el final, el símbolo utilizado es "#". Un árbol sintáctico se constituye por nodos hojas que corresponden a los operandos (símbolos del alfabeto) y los nodos interiores corresponden a los operadores. A un nodo interior se le llama nodo-concat, nodo-o o modo-asterisco si se etiqueta mediante el operador de concatenación (punto), el operador de unión "|", o el operador "\*", respectivamente. [7]

En la figura 3 se describe los elementos de un árbol sintáctico.

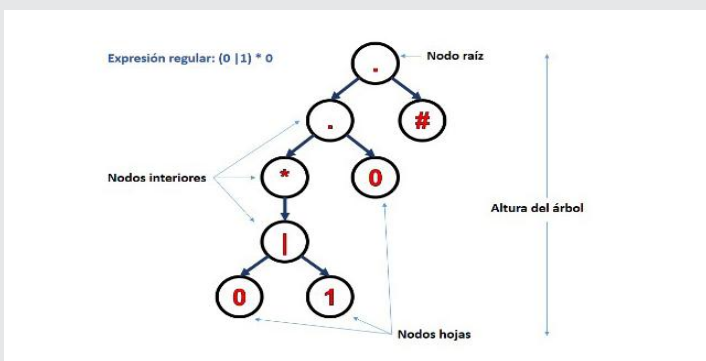


Figura 3. Elementos que conforman el árbol sintáctico.

Para llevar a cabo la conversión primero se construye el árbol sintáctico y después calcula las cuatro funciones: anulable, primera pos, última pos y siguiente pos, el cálculo de estas funciones se realiza de manera recursiva directa sobre la altura del árbol.

Después de que se realiza todo el cálculo de las funciones anteriores se procede a construir la tabla de transición resultante que es la que se utiliza para analizar qué cadenas acepta o rechaza la expresión regular.

**RESULTADOS**

El desarrollo de este proyecto dio como resultado una herramienta (JLEFO) orientada a la solución de autómatas finitos deterministas, autómatas finitos no deterministas y expresiones regulares, disponible para el sistema operativo Windows bajo el JRE 8.0.2 de Java, su interfaz es simple e intuitiva, fácil de usar.

Esta herramienta está dirigida a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales (ITVER).

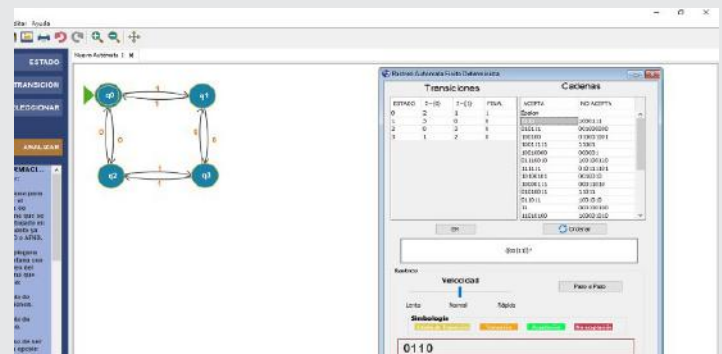
En la figura 4 se muestra la interfaz principal de la herramienta.



Figura 4. Interfaz principal de JLEFO.

La herramienta cuenta con tres módulos: AFD, AFND y e.r.'s.

En el módulo AFD el usuario puede diagramar un AFD y analizarlo, en el análisis se muestra la tabla de transición correspondiente al AFD diagramado, así como las cadenas aceptadas y rechazadas, además, puede visualizar como es consumida o rechazada las cadenas gráficamente por último puede convertir su AFD a una e.r. equivalente. En la figura 5 se muestra la interfaz del módulo.



- Rastreo de cadenas automático para diagramas AFD y AFND
- Rastreo de cadenas visual para diagramas AFD y AFND
- Rastreo de cadenas automático para e.r.'s

Una vez aplicadas las encuestas en los momentos diferentes (recabar información de impacto para cada uno de los modelos que se incluyen en la herramienta), realizadas las gráficas y tablas, se obtuvieron los siguientes resultados relevantes: a) un significativo 85% consideraron mejor herramienta a JLEFO que otras utilizadas para el mismo fin; b) más del 75% de los encuestados consideraron un apoyo invaluable la facilidad del rastreo de cadenas (que no tienen otras herramientas similares); c) casi el 90% de los encuestados manifestaron estar satisfechos con la utilización de JLEFO; d) el 92% dijeron que la herramientas les permitió una mejor comprensión de los modelos matemáticos planteados.

## CONCLUSIONES

Para recabar información del impacto de JLEFO en la materia Lenguajes y Automatas I del periodo enero - junio 2019, especialmente en relación con las estructuras que se plantean en la herramienta, se proporcionó el ejecutable de la aplicación a 39 estudiantes, con el fin de que lo utilizarán en la resolución de ejercicios, además de familiarizarse con la herramienta, el formato de la representación del resultado de análisis de las estructuras y con las demás funcionalidades.

Durante el curso una vez vistas las unidades correspondientes a autómatas finitos y expresiones regulares se aplicó un examen ordinario tradicional con resolución de ejercicios de AFD y e.r.'s en papel. Posteriormente se calificaron obteniendo así un 18% de aprobados, lo cual reflejó un índice muy bajo de aprobación. Paso siguiente se procedió a preparar una serie de ejercicios que conformaron un nuevo examen en el cual se evaluó el mismo tipo de estructuras AFD y e.r.'s, pero esta vez se resolvieron utilizando la herramienta JLEFO. Los resultados obtenidos fueron favorables, el índice de aprobación fue de un 77%. Comparando los resultados se obtuvo la siguiente información que se muestra en la figura 8.

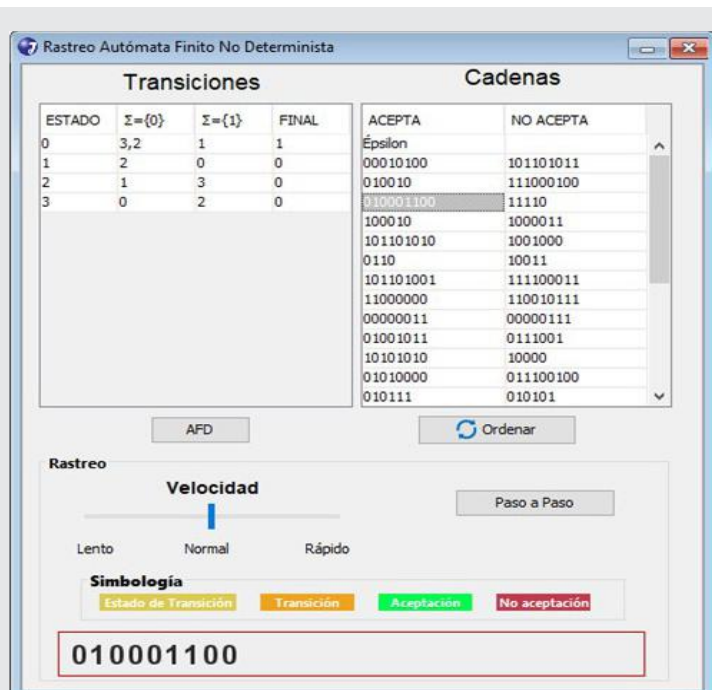


Figura 6. Interfaz de rastreo del módulo AFND.

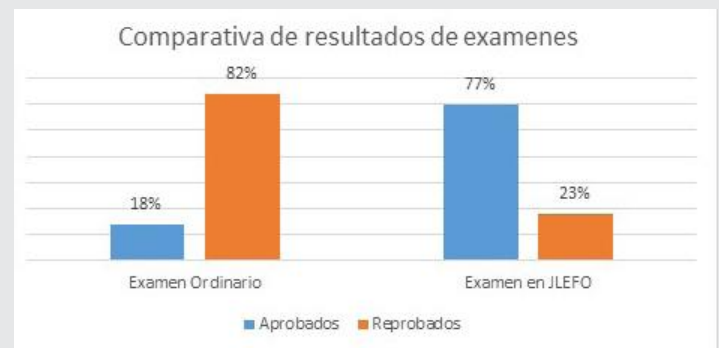


Figura 8: Comparativa de resultados de evaluaciones con y sin la herramienta JLEFO.

En base a todo lo anterior se concluye que el desarrollo de la aplicación JLEFO resultó un éxito en cuanto a funcionalidad y objetivos que se buscaban cumplir. Las ventajas de la herramienta y que se logran a través de la interfaz más agradable visualmente y fácil de entender, le permite al estudiante realizar el rastreo automático de cadenas, presentando la tabla de transiciones y la de cadenas, teniendo una reducción del tiempo que le toma realizarlo manualmente, además de tener un rango más amplio de cadenas y de longitud variable permitiendo que la interpretación del lenguaje que aceptaba su estructura fuera más fácil que hacerlo con sus rastreos manuales. Para los gustos visuales que tienen los estudiantes se proporcionó un rastreo de determinada cadena en el módulo AFD/AFND, esto también ayudó a comprender cómo funciona un diagrama de transiciones al leer una cadena y también para los que no es de su agrado solo observar la tabla de cadenas.

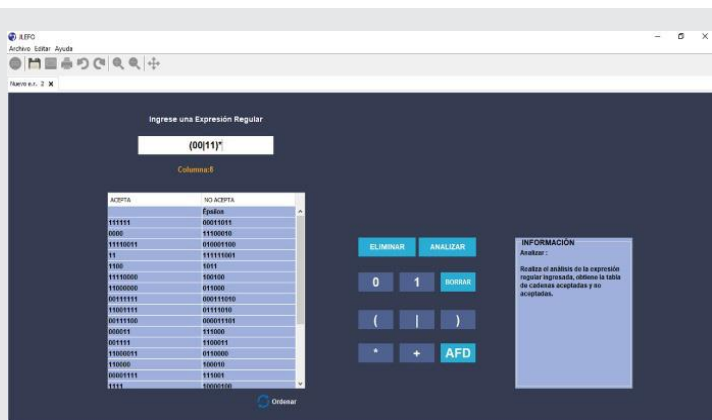


Figura 7. Interfaz del módulo e.r.'s.

Finalmente, uno de los puntos fuertes y de gran interés fueron las conversiones entre estructuras, siguiendo el siguiente orden:

- AFD - e.r.
- AFND - AFD
- e.r. - AFD

A través de la repetición de esta acción de conversión permitió al alumno entender cómo generar e.r's simplificadas y eficientes.

Por el lado de construcción del diagrama, muchas veces los estudiantes no completan su diagrama y aunque no es explícito que la aplicación refleje a través de un cuadro de diálogo el tipo de estructura que se haya dibujado, al generar un análisis en la ventana de rastreo el título indica el tipo de estructura al que se le realiza, dado que AFD y AFND pueden ser diagramados en el mismo espacio de trabajo, pero este título ayudó a remediar esta habitual equivocación.

Por último, esta herramienta fue registrada ante INDAUTOR (Instituto Nacional del Derecho de Autor) por la propiedad intelectual con número de registro 03-2019-0621 09365000-01.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

[1] *Extreme Programming: A gentle introduction.* (n.d.). Recuperado el 6 de septiembre de 2019 de <http://www.extremeprogramming.org/>

[2] Meléndez, S., et. al (2015). *Metodología ágil de desarrollo de software programación extrema.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.

[3] *Modelo Vista controlador (MVC).* (n.d.). Recuperado 6 de septiembre 2019 de <https://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>

[4] Chhabra, T. (2012). *Conversion of deterministic finite automata to regular expression.* Thapar University, Patiala.

[5] Neumann, C. (2005). *Converting Deterministic Finite Automata to Regular Expressions.* Recuperado de [https://liacs.leidenuniv.nl/~bonsanguemm/FI2/DFA\\_to\\_RE.pdf](https://liacs.leidenuniv.nl/~bonsanguemm/FI2/DFA_to_RE.pdf)

[6] Ruiz L., Edgar, Raffo L., Eduardo, (2003). *Conversión de un AFN a un AFD.* Industrial Data. ISSN 1560-9146.

[7] Aho, Alfred V. (2008). *Compiladores principios, técnicas y herramientas* (2da ed.). México, PEARSON EDUCACIÓN.



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Métricas para evaluar el impacto de la producción científica



## Colaboración

Kirath A. Vázquez Muñoz; María Andrade-Aréchiga; JRG Pulido; José Román Herrera-Morales; Pedro Damián Reyes, Universidad de Colima

**RESUMEN:** Las redes sociales se han convertido en un medio significativo de comunicación, en principio de entretenimiento, ahora también para divulgar el conocimiento. Usualmente, el impacto de las revistas científicas se ha medido con base en el número de citas que obtienen sus artículos en otras publicaciones. Ahora existe una serie de indicadores alternativos que consideran la influencia de sus autores en redes sociales académicas. Se realizó un análisis de indicadores, tradicionales y *altmétricos*, y una clasificación que describe cada uno de ellos. También, un recuento de herramientas y plataformas especializadas para su recopilación y estimación. Así mismo, una revisión de distintas bases de datos especializadas que incluyen indicadores de impacto alternativos y la forma en que éstos son presentados al usuario final. Este estudio es de gran valor pues nos permite contar con una visión clara acerca de las formas que existen para medir el impacto de publicaciones científicas.

**PALABRAS CLAVE:** *Altmérics*, Divulgación Científica, Evaluación del impacto, Indicadores bibliométricos, Minado web.

**ABSTRACT:** Social networks have become a significant medium to communicate, firstly to entertain people ultimately to disseminate knowledge. Traditionally, the impact of scientific journals has been measured according to the number of citations obtained by their articles in other publications. Now there is a series of alternative indicators, named *altmetrics*, which consider the influence of authors in academic social networks. We present an analysis of traditional and new metrics, and a classification describing them. Also, a summary of platforms and tools to acquire that kind of metrics. Finally, a rundown of specialized databases including *altmetrics*, and the way these are presented to a final user. This study provides a clear insight into existing ways to measure the impact of scientific publications.

**KEYWORDS:** *Altmérics*, Impact evaluation, Bibliometric Indicators, Scientific Dissemination, Web mining.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas que se encargan de ofrecer servicios profesionales de acceso a la información científica, como también a las instancias que son generadoras de información como pudieran ser las editoriales de las revistas, han coincidido en mostrar mejor la valoración de las publicaciones científicas [1].

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es una de estas instituciones que, preocupadas por encontrar nuevas formas de medir su impacto en beneficio de sus usuarios, buscan saber si están cumpliendo con parte de sus funciones sustantivas. Precisamente, este trabajo forma parte de un proyecto para generar una propuesta que ayude a medir, de una forma integral, el impacto que tienen sus publicaciones.

En este artículo se muestra un análisis de las técnicas que se han usado para la medición del impacto de las publicaciones científicas propuestas así como una comparación de distintas métricas para la evaluación y la cuantificación de recursos académicos y científicos, con la finalidad de delinear una metodología de generación de herramientas automatizadas de materiales en los que se cita ya sea a una empresa, a una institución o a un autor, con el propósito de medir el impacto de sus publicaciones.

En este sentido, se hace una descripción concisa de los distintos indicadores bibliométricos que permiten medir el impacto de una publicación. Para ello, se analizaron diferentes plataformas, métricas y servicios especializados de información orientados a ofrecer y evaluar la calidad de una publicación científica y se concluye con una propuesta metodológica general.

La medición del impacto en las publicaciones científicas. En la actualidad los investigadores pueden tener impacto en su disciplina no únicamente por las citas que han recibido sus artículos, sino también por otros reconocimientos a su labor, tales como [1]:

- Reutilizar los datos que comparten.
- Recomendar la lectura de sus publicaciones.
- Invitar a intervenir en los medios de comunicación.
- Ver el uso que se hace del software que han desarrollado.

Cada vez que se mida el impacto se debe tener en cuenta el alcance de lo que se quiere medir. Las métricas pueden servir para indicar o sugerir el impacto que ha tenido un conjunto de datos, pero esta medida puede que no sea del todo real, debido al elevado número de elementos que intervienen en la consideración del impacto [1].

Así, al igual que ocurre en la interpretación del impacto de las publicaciones, se necesita el análisis humano para evaluar la calidad de los conjuntos de datos, ya que no siempre el hecho de que se cite mucho significa que sea bueno, debido a que en algunas ocasiones puede ser citado para hacerlo referencia como un artículo inapropiado. Es decir, si un conjunto de datos es muy mencionado en los medios sociales hay la posibilidad de que su impacto sea positivo o negativo en su disciplina [1].

### Indicadores de impacto científico

La evaluación de documentos científicos utiliza una variedad de indicadores bibliométricos, en su mayoría basados en citas, a pesar de no existir una relación inequívoca entre citas y mérito o calidad científica. Estos indicadores, sin embargo, abarcan más que una indicación de visibilidad, relevancia e impacto de los artículos y pueden representar en la carrera del investigador: prestigio, contrataciones, promociones, obtención de fomento a la investigación y otras recompensas [2]. A continuación, un recuento de los principales indicadores bibliométricos:

- El factor de Impacto (FI). Es uno de los primeros y más utilizados índices, creado en 1975, por Eugene Garfield, fundador del entonces Institute for Scientific Information (ISI). Lo introdujo para apoyar en la selección de suscripciones a revistas en bibliotecas. Su utilización es para comparar y evaluar la importancia relativa de una revista dentro de una misma área, en función del promedio de citas que reciben los artículos publicados por la misma revista durante un periodo determinado. Se considera como un índice fácil de calcular y ampliamente disperso por todas las áreas de conocimiento en todo el mundo [2].

- Índice JCR. El índice JCR (Journal Citation Reports) es una de las métricas de impacto más influyentes en la actualidad. Es el resultado de la evolución del FI de ISI, administrado por el consorcio de Thomson-Reuters que a su vez absorbió a ISI. Su valor se calcula dividiendo el número de citas actuales a artículos publicados en los dos años anteriores, por el número total de artículos publicados en dicho periodo [3].

- Índice SCImago. El FI de ISI no tuvo competencia hasta 2004, cuando la editorial multinacional Elsevier creó la base bibliográfica Scopus, y desde ésta, fue lanzado en 2008 el índice SCImago Journal & Country Rank (SJR), disponible en acceso abierto, al contrario del JCR, que requiere suscripción [2]. Además de éstos, existen índices como Eigenfactor y Article Influence [2], también basados en citas, y están disponibles en acceso abierto, sin embargo, con frecuencia, no son utilizados o mencionados.

- FWCI (Field-Weighted Citation Impact). De Scopus, muestra qué tan bien se cita un artículo en comparación con artículos similares. Un FWCI mayor que 1.00 significa que el artículo está más citado de lo esperado según el promedio. Se tiene en cuenta: el año de publicación, el tipo de documento y las disciplinas asociadas a su fuente. El FWCI es la relación entre las citas del artículo y el número promedio de citas recibidas por todos los artículos similares en un período de tres años [4].

- Tweetation. Este índice es una propuesta reciente donde se busca estimar qué tantas citas se podrían obtener para una publicación cuando se emplean las redes sociales, como un medio de diseminación de nuevas publicaciones para un cierto dominio y audiencia [5]. Estas nuevas prácticas pueden ser principalmente vistas como una métrica para el impacto social y la traducción del conocimiento. Es decir, qué tan rápido los nuevos conocimientos son tomados por el público, medir el interés para temas específicos, y cómo se traducen en una cita formal, misma que es una métrica reconocida para el impacto académico.

- Índice h. Es un indicador bibliométrico que gana fuerza como referente de la trayectoria investigadora en comparación con el factor de impacto principalmente porque reúne difusión e impacto. Su principal debilidad es que



no aprecia las colas de citas por encima ni por debajo del índice y promociona a los productores masivos de artículos y penaliza a los selectivos [6]. Sin embargo, existen diferencias en el cálculo de este índice dado que depende la cantidad y calidad de documentos que son empleados para hacer el cálculo de citas. Por ejemplo: ISI, Scopus e incluso Google Académico pueden dar a un mismo investigador, índices h diferentes debido a la cobertura de documentos que indizan.

- Altmetrics. Las formas tradicionales de evaluar la producción científica y su real impacto e influencia se están viendo transformados por el surgimiento de una nueva ola de indicadores bibliométricos alternativos llamados altmetrics o alométricos [7] que están utilizando a las redes sociales como vehículos muy eficientes para compartimiento de noticias, opiniones y contenidos en general.

Los indicadores alométricos están ganando credibilidad en la evaluación de publicaciones e investigadores [8]. En este sentido Altmetric en una empresa especializada monitoriza varias redes sociales en el compartimiento del artículo científico: blogs, Twitter, Facebook, Mendeley, YouTube, ResearchGate, Google, Reddit, LinkedIn, noticias en los medios de comunicación impreso y en línea, por ejemplo, mencionadas en la elaboración de políticas públicas, y otros. Un estudio muestra que los altmetrics presentan correlación con índices de impacto basados en citas y pueden ser usadas para complementarlas, juntamente con evaluación por los pares y medidas de uso como acceso y descargas [8].

Es importante considerar nuevas formas de comunicación científica que ya están influenciando la manera de cómo los resultados de investigación son publicados, distribuidos y evaluados. La emergencia de las redes sociales para los académicos es un fenómeno con millones de usuarios en el contexto de la investigación. Las redes sociales académicas ofrecen un nuevo modo de publicar y difundir el trabajo académico a la comunidad científica. Además, introducen nuevas métricas que pueden ser utilizadas en la evaluación científica [8]. En la Figura 1 se muestran los diferentes indicadores bibliométricos y algunos ejemplos.



Figura. 1. Clasificación de métricas de evaluación científica (Elaboración propia).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los indicadores bibliométricos potencializan el reconocimiento científico de los investigadores, ya que permiten fomentar el uso de las métricas de datos y el intercambio de éstas puede ser una fuente de potencial reconocimiento científico para los investigadores. En este sentido, para la comunidad científica es necesario informar cómo se utilizan y de qué manera se hace la medición del impacto de sus publicaciones.

Existe la posibilidad de generar de forma automatizada de identificar un indicador como el número de veces que es citada una obra, pero para esto se tienen que realizar procesos exhaustivos que llevan a cabo herramientas de indexado que extraen los metadatos de cada una de las publicaciones [9]. Estos metadatos son el título del artículo, sus autores, datos de las revistas, e incluso las referencias que emplean en cada una de ellas [10].

La problemática de extracción de metadatos en las diferentes áreas es un inconveniente abierto y difícil de abordar. Esto se debe a la diversidad de tipos de recursos, distintos formatos de archivos utilizados y la falta o diversidad de estructura en los mismos [11]. Se profundiza aún más por el fenómeno de la explosión de la información, del Big data, e incluso de las redes sociales. Lo que se traduce en una generación excesiva de información, que difícilmente puede ser clasificada, indexada, o recuperada de la forma más apropiada [10]. Ello está propiciando cambios en los mecanismos para generar, difundir todo tipo de información, en particular el conocimiento científico y sus diversas formas de divulgarse, afectando incluso su calidad, credibilidad y las formas de medir su impacto en la sociedad.

Existen diferentes plataformas que nos permiten el minado web para extraer información de las publicaciones académicas, tres de las más apropiadas son Google Scholar, Scopus y Web of Science. Al hacer una comparación de cuál plataforma reporta una cantidad mayor de citas por área, resulta evidente que Google Scholar ofrece una cobertura más amplia para la mayoría de las disciplinas. Es decir, tiene un extenso repertorio de temas. Mientras que la Web of Science y Scopus proporcionan resultados bastante similares ya que sus áreas fuertes van enfocadas a tópicos comunes, pero en menor cantidad [4].

En este estudio se consideró pertinente hacer un análisis comparativo cuantitativo y cualitativo de las diferentes métricas que existen ya sean modernas o clásicas, para así, identificar cuáles son las fortalezas, debilidades y características específicas que tienen. El enfoque va hacia aquellas que han sido más utilizadas y de las cuales ya existe información consistente y confiable. Sin olvidar las nuevas métricas, las cuales se están innovando y otorgan información actualizada.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó lo siguiente:  
a) Primeramente, se llevó a cabo una revisión de los con-

ceptos sobre las distintas métricas antiguas y las modernas de tipo altmetrics. Se incluye también una indagación sobre cuáles son los recursos de producción científica que utilizan comúnmente los investigadores.

b) Se profundizó sobre el proceso para determinar cuáles plataformas se pudieran utilizar como mecanismo primario para la identificación de publicaciones científicas. Se analizaron: Google Scholar, Scopus y Web of Science, para identificar la herramienta que permita recuperar la mayor cantidad de documentos.

c) Después se identificaron algunas plataformas de servicios profesionales de información, como Altmetric y Plum Analytics, que proporcionan diferentes indicadores asociados para una cierta publicación. Se hicieron algunas consultas para tratar de apreciar el impacto de algún documento, o de una revista en el ámbito científico.

d) Finalmente, se compararon las métricas tradicionales y las nuevas, identificando la naturaleza, utilidad y qué tipo de recursos e información pueden proporcionar, haciendo así la identificación de las similitudes encontradas entre ellas y seleccionar cuales pueden ser los indicadores o la combinación de indicadores más apropiados para medir el impacto de una publicación.

## RESULTADOS

Después de haber realizado las exploraciones correspondientes se obtuvo una tabla comparativa entre las métricas populares y las de mayor prestigio. En la Tabla 1 se presenta la comparación de peculiaridades entre las métricas investigadas en este proyecto. Se considera una clasificación realizada por Orduña-Malea [7] donde se agrupan todo tipo de indicadores de acuerdo con su naturaleza, su origen y la función que realizan a lo largo de todo el proceso de generación, divulgación del conocimiento y de las publicaciones científicas.

En la Tabla 1 se muestran las características más relevantes que se consideraron para hacer la clasificación: tipo, cantidad de indicadores que incluye cada categoría, algunos ejemplos de indicadores y la descripción de cada categoría. Referente a las plataformas especializadas en detectar, recoger y calcular indicadores altmétricos asociados a alguna publicación en particular, se realizaron pruebas con la plataforma Plum Analytics para conocer cuántas veces se habían citado o mencionado un investigador en las redes sociales científicas. El funcionamiento de Plum Analytics puede verse en acción dentro del portal de Scopus, puesto que se ofrece la visualización de ciertos valores de indicadores integrados a la visualización de los detalles de una publicación.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de una visualización de los detalles de una publicación, y en la parte lateral derecha inferior, se muestran los datos de indicadores altmétricos generados de forma dinámica e incrustada la interfaz web de la base de datos.

Tabla 1. Clasificación de indicadores de acuerdo con su naturaleza y función [11].

Categoría	Descripción de la categoría	# de indicadores	Ejemplos de indicadores
Publicación	Se incluyen métricas que sirven para contar el número y tipo de cualquier documento o publicación hecha en cualquier medio. p.e. libros, artículos, presentaciones de power-point, datasets, tweets, posts, etc.	10	Publicaciones (hechas automáticamente), publicaciones (manuales), tipo de publicación, co-autores, posts, diapositivas, software, tweets, videos
Citas	Se refiere a los indicadores usados para recuentos de citas, incluido el total de citas en varias bases de datos y plataformas, como: Web of Science, Scopus, Research Gate, Academia.edu, PubMedCentral (PMC), RePEc, etc.	15	Total de autocitas, citas por año, citas de editoriales, citas de revisores, promedio de citas por artículo, promedio de citas por año, total de citas, documentos citados, índice h, h-5 (para 5 años) y h.
Uso	Se incluyen todas las métricas relacionadas con el uso directo de documentos o perfiles personales por cualquier tipo de usuario en las plataformas digitales.	22	Vistas de resúmenes, acciones o marcadores realizados, clicks, descargas, documentos grabados, exportados, vistas de recursos, enlaces internos o externos, vistas a perfiles, etc
Diseminación	Miden el alcance de documentos publicados por un autor y se extienden a través de otros canales de comunicación, ya sea en forma de respuesta a un mensaje o documento, o un comentario que discute el documento.	20	Noticias, menciones, Comentarios, primeros pasos, seguidores, Wikitastic.
Valoración	Incluye indicadores en los que explícitamente se hace un juicio de valor sobre el trabajo de un autor. Rangos desde el popular "me gusta", favoritos, puntajes numéricos, hasta sugerencias.	15	Me gusta (likes), No me gusta (dislikes), favoritos, reviews, votaciones, etc.
Interacción social	Agrupar métricas que indican en qué medida un autor está conectado con el resto de los científicos, académicos, o comunidades profesionales o con la sociedad en general.	9	Respuestas, contactos, colaboradores, seguidores, publicaciones seguidas, preguntas realizadas.

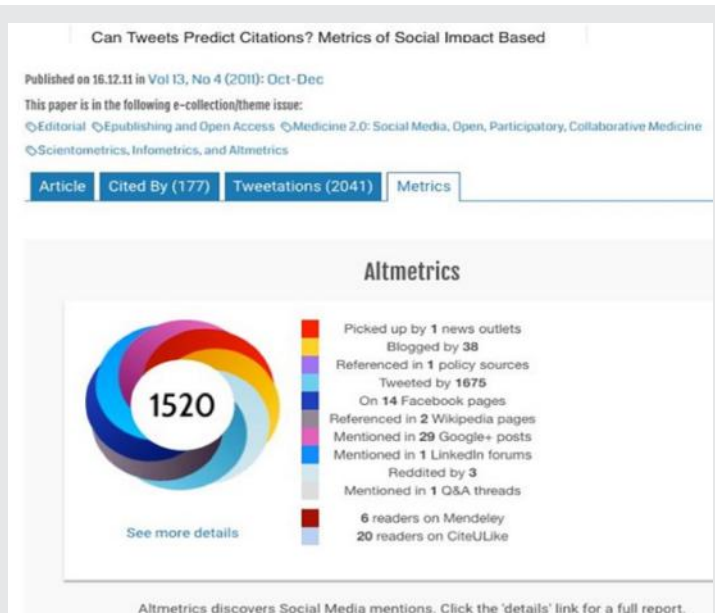


Figura 2. Ejemplo de la visualización de indicadores altmétricos [5].

Teniendo un amplio panorama de la gran cantidad de indicadores tradicionales, así como de altmetrics, se procedió a revisar diversas plataformas de servicios profesionales de información. Esto con el propósito de comparar la forma en que presentan la información una cierta publicación que se está mostrando en pantalla, prestando especial énfasis en los indicadores asociados a éstas e identificando de qué tipo son y cuál es el mecanismo, herramienta o servicio se utiliza para su obtención [5].

Un concentrado de los diversos tipos de indicadores por base de datos se presenta en la Tabla 2, donde se aprecia que para proporcionar indicadores altmétricos, las bases de datos de Scopus y Science direct utilizan la plataforma de Plum Analytics, mientras que Science y Nature utilizan Altmetric y Springer Bookmetrix. Las demás bases de datos utilizan sus propias métricas, más sencillas, entregando pocos o nulos detalles de cómo se generan.

Tabla 2. Métricas en diferentes portales de bases de datos y sus herramientas.

Base de datos	Indicadores ofrecidos	Herramienta para calcular las métricas
Scopus	Conteo de clics, descargas, vistas, fondos de la biblioteca, reproducciones de video, marcadores, códigos, favoritos, lectores, observadores, publicaciones de blog, comentarios, reseñas, enlaces de Wikipedia, medios de comunicación, +1, Me gusta, acciones, tweets, índices de citas, citas de patentes, citas clínicas, citas de políticas.	Plum Analytics
Science direct	Conteo de clics, descargas, vistas, fondos de la biblioteca, reproducciones de video, marcadores, códigos, favoritos, lectores, observadores, publicaciones de blog, comentarios, reseñas, enlaces de Wikipedia, medios de comunicación,+1, Me gusta, acciones, tweets índices de citas, citas de patentes, citas clínicas, citas de políticas.	Plum Analytics
Research Gate	Cantidad de lecturas, recomendaciones, seguidores y citas.	No disponible
ACM	Conteo de citas, descargas acumuladas, descargas por año, descargas de las últimas seis semanas, promedio de descargas por artículo, conteo de publicaciones, promedio de citas por artículo.	No disponible
Web of Science	Veces citado y referencias citadas.	No disponible
Science Online	Menciones en las noticias, blogs y en Twitter; páginas vistas y descargas del artículo, así como observadores del repositorio de GitHub, cobertura en las noticias, compartir en redes sociales y funciones de blog referencias en documentos de políticas públicas, o comentarios de expertos y practicantes.	Altmetric
Ebsco	No presenta métricas.	No disponible
IEEE	Factor de impacto, eigenfactor y puntuación de influencia del artículo.	No disponible
Nature	Menciones en las noticias, blogs y en Twitter; páginas vistas y descargas del artículo, así como observadores del repositorio de GitHub, cobertura en las noticias, compartir en redes sociales y funciones de blog referencias en documentos de políticas públicas, o comentarios de expertos y practicantes.	Altmetric
Springer	Conteo de citas, datos de uso, menciones en redes sociales, número de usuarios que han guardado en Mendeley tanto el libro como cada uno de los capítulos.	Bookmetrix
Royal Society Publishing (RSP)	Menciones en las noticias, blogs y en Twitter; páginas vistas y descargas del artículo, así como observadores del repositorio de GitHub, cobertura en las noticias, compartir en redes sociales y funciones de blog, referencias en documentos de políticas públicas, comentarios de expertos y practicantes.	Altmetric

A partir de toda la información presentada se plantea una metodología inicial de generación de herramientas automatizadas de materiales en los que se cita ya sea a una empresa, a una institución o a un autor, a través de:

- a) Desarrollo de una aplicación para la obtención de Metadatos de repositorios mediante el protocolo Open Archives Initiative.
- b) Aplicación de minería de datos para extracción de documentos académicos del repositorio de RedALyC.
- c) Recuperación de metadatos e indicadores de impacto para publicaciones científicas mediante servicios de Google académico.
- d) Desarrollo de mecanismos de gestión y almacenamiento en la nube.
- e) Acceso y recuperación de metadatos de publicaciones digitales científicas utilizando los servicios del repositorio dimensions.
- f) Aplicación de minería de datos basados en servicios académicos.

**CONCLUSIONES**

Se encontró información actualizada y extensa acerca de cómo se clasifican las métricas para medir el impacto de las publicaciones y cómo recientemente se incluyen una nueva gama de indicadores que no solo contabilizan las citas de una obra, sino que abarcan diversos ámbitos que incluyen diferentes medios y formas de interacción en el contexto del internet y recientemente de las redes sociales.

Se revisaron distintas clasificaciones de métricas de tipo altmetrics y se hizo un recuento de indicadores y herramientas especializadas para su recopilación y estimación.

También, se realizó un riguroso análisis a distintas bases de datos especializadas donde se encontró que como complemento a la información detallada de una obra, se muestran una amplia gama de indicadores de impacto relacionados a una publicación y a sus autores, y que son cada vez más las bases de datos que están incorporando métricas alternativas como parte de los recursos especializados de información que ofrecen al usuario.

Se concluye, del análisis de los resultados, que se utilizará una combinación de las métricas tradicionales para una evaluación integral del impacto de las publicaciones de interés, así como la medición de la calidad de éstas. Para ello se considerarán tres componentes: 1) la cantidad de citas recibidas y el factor de impacto de su revista, 2) un componente asociado a sus autores, como el índice-h, y 3) la inclusión de indicadores altmétricos, como las veces que es visto, descargado, compartido o mencionado (tweets) en plataformas y redes sociales.

Como trabajo futuro de este estudio se estará implementando una API que permita interactuar con las plata-

formas de Plum Analytics y Altmetric para poder recuperar de forma automatizada los indicadores asociados a un listado de publicaciones de nuestro interés.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Sectorial CONACyT-INEGI por el financiamiento del proyecto 290379 de la convocatoria S0025-2016-2.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] Ferrer-Sapena, A., Sánchez-Pérez, E., Alexandre-Benavent & E., Peset, F. (2016). *Cómo analizar el impacto de los datos de investigación con métricas: modelos y servicios. El profesional de la información*, 25(4), 632-641.

[2] Nassi-Calò, L. (2017). *Evaluation metrics in science: current status and prospects. Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 25, e2865. Epub <https://doi.org/10.1590/1518-8345.0000.2865>

[3] Slim, K., Dupré, A. & Le Roy, B. (2017). *Impact factor: An assessment tool for journals or for scientists". Anaesthesia Critical Care and Pain Medicine*, 36(6), 347-348.

[4] Aldieri, L., Kotsemir, M. & Vinci, C. (2018). *The impact research collaboration on academic performance: An empirical analysis for some European countries. Socio-Economic Planning Sciences*, 62, 13-30.

[5] Eysenbach, G. (2017). *Can Tweets Predict Citations? Metrics of Social Impact Based on Twitter and Correlation with Traditional Metrics of Scientific Impact. Journal of medical internet research*, 2017, 13(4), 125-149.

[6] Túñez López, M & Pablos, J. (2013). *El 'índice h' en las estrategias de visibilidad, posicionamiento y medición de impacto de artículos y revistas de investigación. Investigar la Comunicación Hoy. Revisión de Políticas Científicas y Aportaciones Metodológicas: Simposio Internacional sobre Política Científica en Comunicación*, 133- 150.

[7] Orduña-Malea, E., Martín-Martín, A. & Delgado-López-Cózar, E. (2016). *The next bibliometrics: ALMetrics (Author Level Metrics) and the multiple faces of author impact. El Profesional de la Información*, 25(3), 485-496.

[8] Quintas Froufe, N. (2016). *La emergencia de las redes sociales académicas: su impacto académico. Revistas Científicas y humanísticas, Opción*, 32(10), 517-528.

[9] Gasparetti, F., De Medio, C., Limongelli, C., Sciarrone, F. & Temperini, M. (2018). *Prerequisites*

*between learning objects: Automatic extraction based on a machine learning approach. Telematics and Informatics*, 35(3), 595-610.

[10] Stillerman, J., Greenwald, M. & Wright, J. (2018). *Scientific data management with navigational metadata. Fusion Engineering and Design*, 128, 113-116.

[11] Alonso-Arévalo, J. & Cordón-García, J. (2014). *Lectura Social, metadatos y visibilidad de la información. XLV Jornadas Mexicanas de Biblioteconomía*, 1-31.

[12] Harzing, A. & Alakangas, S. (2016). *Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. Scientometrics*, 106(2), 787-804.



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Sistema de gestión web para la administración de eventos del fideicomiso, Centro Internacional Acapulco



## Colaboración

Ernesto Pilo Reyes; Juan Miguel Hernández Bravo; Eduardo de la Cruz Gámez; José Francisco Gazga Portillo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Acapulco

**RESUMEN:** El Fideicomiso Centro Internacional Acapulco, usa un sistema de gestión llamado CIANET para llevar un control de las reuniones, mesas de trabajo, conciertos y exposiciones, el sistema de gestión es obsoleto y la empresa tiene nuevas necesidades que el software CIANET no satisface, por lo cual se desarrolla un nuevo sistema de gestión web haciendo uso de una metodología basada en modelo vista controlador, esta herramienta permitirá generar contratos desde la apertura de la cotización hasta la firma del contrato, generar reportes del departamento de ventas e insertar información en la base de datos del Saacg.net (Software gubernamental para reportar la contabilidad) desde el nuevo sistema de gestión web, esto permite la captura de datos en el nuevo software y migrar la información a la base de datos del Saacg.net. Esto ayuda a disminuir 20% el tiempo invertido por el personal de ventas y reducir 30% del personal de contabilidad. El Fideicomiso Centro Internacional Acapulco, está obligado a presentar la información de sus trabajos, mediante los reportes del Saacg.net.

**PALABRAS CLAVE:** Administración de eventos, ASP NET CORE 2.1, CIANET, MVC, Saacg.net.

**ABSTRACT:** The Fideicomiso Centro Internacional Acapulco, uses a management system called CIANET to keep track of meetings, work tables, concerts and exhibitions, the management system is obsolete and the company has new needs that CIANET software does not satisfy, so a new web management system is developed using a methodology based on a controller view model, this tool will allow generating contracts from the opening of the quotation until the signing of the contract, generate reports from the sales department and insert information into the database of Saacg.net (Government software to report accounting) from the new management system, this allows the capture of data in the new software and migrate the information to the database of Saacg.net. This helps reduce the time spent by sales staff by 20% and reduce 30% of accounting staff. The Fideicomiso Centro Internacional Acapulco, is obliged to present the information of its works, through the reports of Saacg.net.

**KEYWORDS:** ASP NET CORE 2.1, CIANET, Event Management, MVC, Saacg.net.

## INTRODUCCIÓN

En el año 2006 el Fideicomiso Centro Internacional Acapulco compró un software comercial para la administración de eventos llamado CONSYSTE, sin embargo, dejaron de usar este software debido a que no tenían soporte técnico cuando requerían modificar algunos módulos del mismo y tampoco podían modificar los módulos para acoplarse al método de trabajo para realizar los eventos en el Fideicomiso Centro Internacional Acapulco. En el año 2010 contrataron un ingeniero en sistemas computacionales, del cual no se tiene conocimiento por parte de los trabajadores actuales de la empresa, el motivo de su contratación fue la de crear un software para la administración de eventos del Fideicomiso Centro Internacional Acapulco llamado CIANET el cual es el primer programa que usaron para llevar el manejo de sus eventos de manera más adecuada y

acoplada a sus necesidades, y es el software que actualmente utilizan. Sin embargo, el Fideicomiso Centro Internacional Acapulco necesita modificar algunos detalles en el método de trabajo, y necesita actualizar información en los módulos del sistema, pero no cuentan con el apoyo del ingeniero que contrataron realizarlos, y no cuentan con permiso o acceso al código para hacer modificaciones, por tanto, optaron por crear un nuevo software.

Desde el año 2015 se ha planteado la idea de adquirir un nuevo software para realizar sus trabajos de administración de eventos, sin embargo, por falta de recursos, no se ha invertido en ninguna de las opciones del mercado.

Otra razón más por la cual no han adquirido otro software, es por la falta de conocimiento que tienen sobre opciones de sistemas que se manejan en el mercado, y el software que podría solucionar sus problemas, no se acoplan completamente a las necesidades que desean solucionar.

La creciente globalización, el proceso de internacionalización de la empresa, el incremento de la competencia en los mercados de bienes y servicios, la rapidez en el desarrollo de las tecnologías de información, el aumento de la incertidumbre en el entorno y la reducción de los ciclos de vida de los productos originan que la información se convierta en un elemento clave para la gestión, así como para la supervivencia y crecimiento de la organización empresarial.

Un sistema de información es el conjunto formal de procesos que, operando sobre una colección de datos estructurada de acuerdo a las necesidades de la empresa, recopila, elabora y distribuye selectivamente la información necesaria para la operación de dicha empresa y para las actividades de dirección y control correspondientes, apoyando, al menos en parte, los procesos de toma de decisiones necesarios para desempeñar funciones de negocio de la empresa de acuerdo con su estrategia.

Todo sistema de información utiliza como materia prima los datos, los cuales almacena, procesa y transforma para obtener como resultado final información, la cual será suministrada a los diferentes usuarios del sistema, existiendo además un proceso de retroalimentación o "feedback", en la cual se ha de valorar si la información obtenida se adecua a lo esperado. Los otros dos componentes básicos que constituyen un sistema de información son los usuarios (personal directivo, empleados y en general cualquier agente de la organización empresarial que utilice la información en su puesto de trabajo) y los equipos (informáticos, software, hardware y tecnologías de almacenamiento de la información y de las telecomunicaciones) [1].

El programa se enlazará a la base de datos del software saacg.net para poder agregar de manera más fácil y específica, la información correspondiente a los eventos realizados, capturará datos en el nuevo software y migrar la información a la base de datos del saacg.net. Generará reportes, consultas, vistas de la información que se maneja, etc.

La presente investigación concierne al Fideicomiso Centro Internacional Acapulco el cual cuenta actualmente con un software para la elaboración de notas informativas, órdenes de trabajo para el personal del centro de convenciones; realización de presupuestos y contratos para los clientes. Sin embargo, es un software al cual no tienen permisos para realizar modificaciones y agregar algunos módulos con los cuales no cuenta en la actualidad, pero que son necesarios para poder realizar el trabajo de una manera rápida y de acuerdo a las necesidades de sus clientes, sin mencionar que no tienen una manera de llevar automáticamente la información generada en este software a la nueva plataforma que están obligados a usar.

Todos los documentos generados dentro del software que manejan actualmente no llevan una continuidad, por lo cual, cuando se realiza una cotización, se tiene que realizar el mismo procedimiento y agregar más datos cuando se genera una factura, en donde manualmente se tiene que especificar a cuál cotización se están refiriendo al momento de la captura. El detalle más importante que se desea resolver es que el software además de que cumpla con sus necesidades, se acople al software (Saacg.net) el cual están obligados a usar para presentar su información.

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la aplicación, tomamos en cuenta una visión global del sistema a desarrollar, en el anexo A se muestra el modelo de negocios del sistema, en cual se describen los procesos y seguimiento que se lleva a cabo dentro del programa.

### Descripción de los procesos del modelado de procedimientos

Requerimientos del cliente: El cliente solicitó el salón para rentar, y los requerimientos como:

- Sillas.
- Mesas.
- Personal de seguridad.
- Plantas decorativas.
- Sistema de audio.
- Sistema de video. y proyección.
- Tipo de montaje.
- Días de pruebas y ensayos con o sin aire acondicionado.

## Pago del 50% en el banco

1.- Para confirmar la realización del evento, el cliente debió de realizar el pago del 50% en el banco.

2.- El banco expidió un voucher, comprobante de depósito o comprobante de transferencia monetaria a la cuenta del Fideicomiso Centro Internacional Aca-pulco.

3.- El cliente proporciono el comprobante de depó-sito al departamento de dirección de administración.

## Corroborar que los requerimientos del cliente es-tén disponibles

1.- Se encargan de corroborar que todos los requere-rimientos fueran cumplidos. De no ser posible, me-diante un oficio, se informará de la situación, y deta-lles con los que se tenga inconveniente. Orquestar el personal para montaje, Staff del evento y personal para desmontaje: Orquestar el personal para monta-je, Staff del evento y personal para desmontaje.

## Confirmar el depósito o pago en la cuenta ban-caria

1.- Cuando el cliente realiza el depósito del 50%. Di-rección de administración y finanzas envía un correo de confirmación a los departamentos de manteni-miento y dirección de operaciones para dar segui-miento a la realización del evento.

2.- Cuando el cliente realice el pago del segundo depósito de 50% del costo total para realizar el evento. El departamento de Dirección de adminis-tración y finanzas.

3.- Generar un correo de confirmación del pago del 100% del evento.

## Validar el evento y confirmar fecha apartada:

1.- Cuando la dirección comercial recibe el correo de confirmación del depósito del 50%, las fechas solicitadas quedan apartadas.

2.- Cuando los departamentos de mantenimiento generan el oficio de visto bueno en las instalaciones y personal.

La Dirección comercial puede solicitar el segundo depósito de 50% del pago para realizar el evento.

3.- Cuando reciba el correo de confirmación del pago del 100% del evento del cliente, que es proporcionado por el departamento de Dirección de administración y finanzas, se genera un contrato el cual deberá ser firmado por dirección general.

## Pago de la segunda parte de 50%

El cliente realizará el pago del segundo depósito del 50%

## Firma del contrato:

1.- Dirección general recibe el contrato generado por Dirección Comercial. Confirma cada uno de los pun-tos solicitados por el cliente en una junta en persona. y se procede a que ambos firmen el contrato.

En la figura 1 se muestra el diagrama entidad asocia-ción de la base de datos del programa, hasta ahora, este sólo contiene los datos que necesita el softwa-re para poder generar una cotización, pero la base de datos será más extensa para poder trabajar con todos los contemplados.

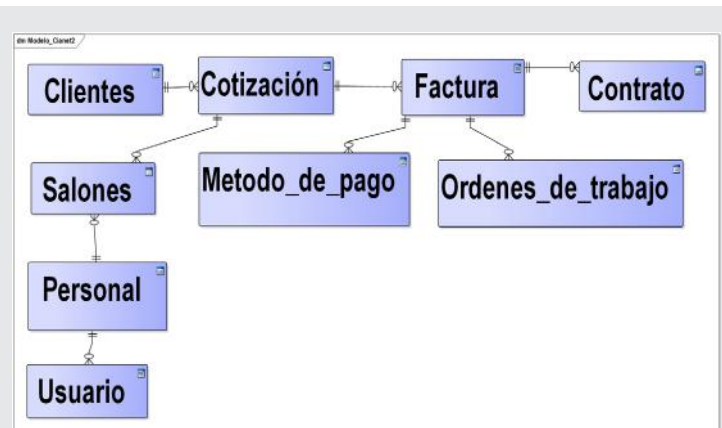


Figura 1. Diagrama Entidad Asociación. (Ing. Ernesto Pilo Reyes)

## Modelo Vista Controlador

El sistema se desarrolla haciendo uso del Modelo Vista Controlador (MVC) el cual es un estilo de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos. Se trata de un modelo muy maduro y que ha demostrado su validez a lo largo de los años en todo tipo de aplicaciones, y sobre multitud de lenguajes y plataformas de desarrollo.

El Modelo, contiene una representación de los datos que maneja el sistema, su lógica de negocio, y sus mecanismos de persistencia.

La Vista, o interfaz de usuario, compone la información que se envía al cliente y los mecanismos interacción con éste.

El Controlador, actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando el flujo de información entre ellos y las transformaciones para adaptar los datos a las necesidades de cada uno. [2]

El modelo vista controlador es utilizado en múltiples frameworks tales como:

- Java Swing.
- Java Enterprise Edition (J2EE).
- XForms (Formato XML estándar del W3C para la especificación de un modelo de proceso de datos)



- XML e interfaces de usuario como formularios web).
- GTK+ (escrito en C, toolkit creado por Gnome para construir aplicaciones gráficas, inicialmente para el sistema X Window).
- ASP.NET MVC Framework (Microsoft).
- Google Web Toolkit (GWT, para crear aplicaciones Ajax con Java).
- Apache Struts (framework para aplicaciones web J2EE).
- Ruby on Rails (framework para aplicaciones web con Ruby). [3]

En la figura 2 se representa el flujo de control que maneja la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC) la cual es la metodología que se emplea para el desarrollo del programa. es un estilo de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos.



Figura 2. Flujo de control del Modelo Vista Controlador (MVC). [4]

Se trata de un modelo muy maduro y que ha demostrado su validez a lo largo de los años en todo tipo de aplicaciones, y sobre multitud de lenguajes y plataformas de desarrollo.

1. El usuario envía una petición al controlador vía url.
2. El controlador solicita al modelo, los datos
3. El modelo devuelve los datos.
4. El controlador selecciona una vista.
5. Se devuelve la vista seleccionada al controlador.
6. El controlador devuelve una vista que carga los datos del modelo seleccionado.

**RESULTADOS**

El sistema de gestión web para la administración de eventos cuenta con una pantalla donde se muestran los eventos previamente registrados por el usuario, en esta ventana, el usuario puede realizar una búsqueda de eventos filtrando los días que quiere consultar, a partir de esta ventana se puede tener acceso a las demás secciones del programa, los cuales son, modificar, imprimir, agregar, y eliminar una cotización. esta es la primera ventana que se visualiza

una vez que el usuario inicie sesión con su usuario y contraseña.

Calendario de eventos						
Mes: -- Seleccione un mes --						
ORDENES ACTIVAS						
No de orden	Fecha	Nombre	Area/Salón	Tipo de evento	Descargas	Orden
1075	Del 09 de Octubre de 2019 al 11 de Octubre de 2019	3ER CONGRESO INTERNACIONAL DE INNOVACION TECNOLOGICA Y SUSTENTABILIDAD	SALON CHOLULA	Congreso	Sin archivos adjuntos	[icono]
1077	Del 12 de Octubre de 2019 al 13 de Octubre de 2019	CONCOMICS	SALON CHOLULA	Social	Sin archivos adjuntos	[icono]
1078	18 de Octubre de 2019	FIESTA DE CUMPLEAÑOS	PLAZA MEXICANA	Social	Sin archivos adjuntos	[icono]
1080	22 de Octubre de 2019	CEREMONIA DE GRADUACION DE LA GENERACION 2017-2019 DE LICENCIATURAS INGENIERAS Y TECNICO SUPERIOR	TEATRO JUAN RUIZ DE ALARCON	Social	Sin archivos adjuntos	[icono]

Figura 3. Pantalla de lista de eventos. (Ing. Ernesto Pilo reyes)

Con la nueva interfaz de usuario con la que se cuenta en el sistema, las vistas de los eventos son inmediatos al momento de abrir el programa. Facilitando así el acceso a la información contenida en las ordenes de trabajo como se muestran en la figura 7.

Figura 4. Pantalla para agregar y modificar cotización para el cliente. (Ing. Ernesto Pilo reyes)

En la ventana de cotización de cliente, el usuario solicita al cliente los datos necesarios para poder crear una cotización del evento que desea realizar. De igual manera al ingresar la cotización esta se puede modificar, ingresando con el botón de modificar de la ventana de lista de eventos.

Con la nueva ventana de orden de trabajo, es más fácil agregar los requerimientos solicitados por el cliente. En base a las pruebas realizadas con el personal de dirección operativa, la implementación de esta herramienta les permite manipular más fácil y rápido la información.

En la figura 6 se visualiza la cotización con diseño y forma que se le otorga al cliente. Las cotizaciones llevan un orden adecuado para el departamento de

ventas y finanzas, para generar un expediente correcto de su información.



Figura 5. Ventana de órdenes de trabajo. (Ing. Ernesto Pilo Reyes).



Figura 6. Cotización para el cliente. (Ing. Ernesto Pilo Reyes)



Figura 7. Orden de trabajo (Ing. Ernesto Pilo Reyes).

La orden de trabajo guarda los requerimientos solicitados por el cliente lo cual permite que cada requerimiento sea guardado y se le dé seguimiento durante todo el proceso del evento del cliente. De esta manera se evita que exista discrepancia entre el cliente y el personal de la empresa.

## CONCLUSIONES

El sistema se encuentra en fase de desarrollo y aún faltan módulos por implementarse, el diseño, así como los módulos, se pueden modificar, pero la idea base para el sistema es la que se muestra en el modelado de negocio y usando la metodología Modelo Vista Controlador (MVC).

La implementación de este nuevo sistema de gestión web para la administración de eventos, reduce el trabajo del personal de ventas en un 50% debido a que se manipula toda la información que requieren, dentro de un solo software. La nueva interfaz permite que los usuarios trabajen con mayor velocidad, gracias a su vista intuitiva para trabajar. De un promedio de 15 minutos que tomaba realizar una cotización para el cliente, el promedio actual de tiempo invertido por el personal de ventas es de 7 minutos con 50 segundos.

Por parte del departamento de contabilidad, el nuevo sistema les facilita el control de las cotizaciones y relacionarlas con las facturas que genera el programa Saacg.net anteriormente, cotejar esta información para presentar bajo la ley de transparencia, promediaba un tiempo de trabajo de 20 minutos por cotización, pero ahora el promedio de cotejamiento de cotización con factura, es de 2 minutos esto quiere decir que el tiempo de trabajo se redujo a un 10% del total de tiempo invertido. Cabe mencionar que anteriormente el cotejamiento se hacía manualmente con los expedientes impresos de dichos documentos. Pero ahora el software lleva el historial de toda la información de los eventos permitiendo así disminuir el tiempo de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

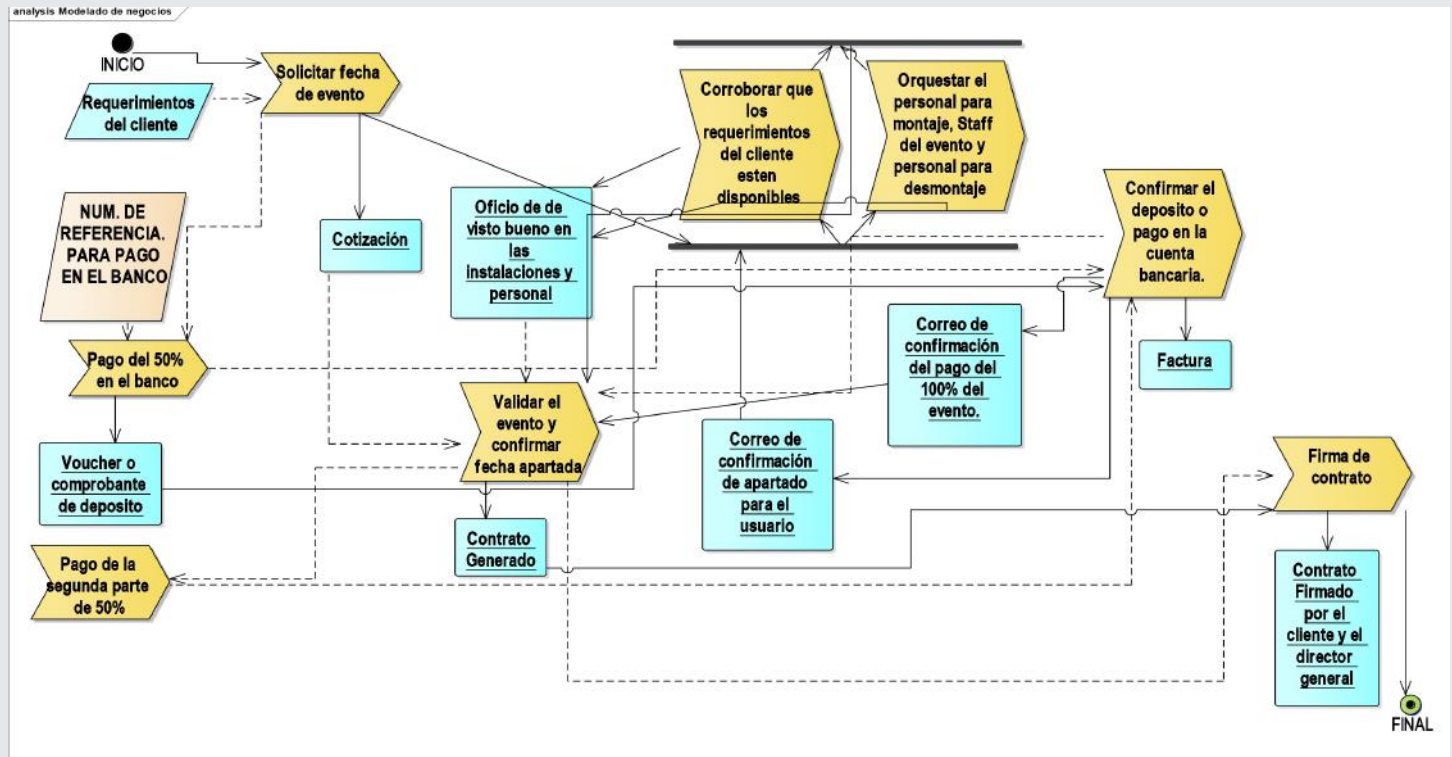
- [1] Trasobares, a. h. (2003). los sistemas de información: evolución y desarrollo. obtenido de <https://dialnet.unirioja.es:https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahukewizjohf-bplahubnkwhfn1br-4qfjaaegqiarac&url=https%3a%2f%2fdialnet.unirioja.es%2fdescarga%2farticulo%2f793097.pdf&usg=aov-vaw3dgjkc2ivcybs3gzynqqwr>
- [2] Mestras, j. p. (2008). <https://www.fdi.ucm.es/profesor/jpavon/poo/2.14.mvc.pdf>.
- [3] Andrés biznaga, d. p. (s.f.). architectures and technologies for the development of web applications. montevideo, uruguay.
- [4] Miblogtecnico. (s.f.). <https://miblogtecnico.files.wordpress.com/2012/07/mvc.jpg>.
- [5] Andreu, r. r. (1991). estrategia y sistemas de información.
- [6] Bueno, e. y. (1994). fundamentos de economía y organización.

[7] Colop, b. m. (2003). three layered architecture business rules. guatemala.

[8] Davis, g. y. (1985). sistemas de información gerencial. mc graw-hill.

[9] Ipoll, l. q. (2008). database management systems.

ANEXO A



Modelado de negocios. (Ing. Ernesto Pilo reyes)

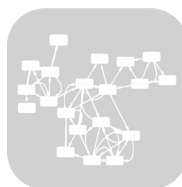


Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Análisis del impacto de las redes de interacción de estudiantes en el desempeño académico en un sistema de tutoría inteligente



## Colaboración

Itzel Berenice Guerrero Alfaro; María Andrade-Aréchiga; JRG Pulido; Silvia B. Fajardo-Flores, Universidad de Colima

**RESUMEN:** En este estudio, se analizan las redes de interacción académica de grupos de estudiantes universitarios para determinar el impacto que tienen los grupos de colaboración, que los mismos estudiantes integran, para realizar actividades académicas, así como entender la dinámica de dicha colaboración. Para este fin, se realizaron análisis estadísticos, así como un análisis de las interacciones de cada grupo de estudio basado en métricas derivadas de la teoría de grafos, nuestra principal contribución. Los resultados indican que existe una influencia estadísticamente significativa del uso de un Sistema de Tutoría Inteligente (STI) en el desempeño académico de los estudiantes. Además, se pudo corroborar que los alumnos dependen de sus redes de trabajo académico colaborativo para mantener el promedio aprobatorio de sus calificaciones, ambos aspectos de gran importancia en la vida académica de todo estudiante.

**PALABRAS CLAVE:** Desempeño académico, Grafos, Métricas, Redes de interacción, Sistema de tutoría inteligente.

**ABSTRACT:** In this contribution, the academic interaction networks of university student groups to determine the impact that team-collaboration, student groups, to carry out academic activities, and understand the dynamics of such a collaboration. To this end, a statistical analysis has been developed, as well as an analysis of group interaction based on graph metrics, our main contribution. The results indicate that there exists a statistically significant influence of the use of an Intelligent Tutoring System (ITS) in the academic performance of the students. Furthermore, it was corroborated that students rely on their academic networks in order to maintain good academic grades, both important aspects in the academic life of students.

**KEYWORDS:** academic performance, network interaction, Graphs, Metrics, Expert Tutoring System.

## INTRODUCCIÓN

En la Universidad de Colima, México, se diseñó un Sistema de Tutoría Inteligente (STI) que se define como un sistema de cómputo basado en inteligencia artificial en el cual se maneja el contenido académico, brinda asesoría e interactúa con el estudiante [1, 2].

El STI fue realizado con el fin de apoyar y dar tutoría a los estudiantes, de tal manera que el alumno fortalezca el conocimiento a través de un sistema de inteligencia [3]; así como de apoyo para disminuir los índices de reprobación y deserción estudiantil, esto en concordancia con [4] que señala que uno de los principales problemas con los que se enfrentan las Universidades hoy en día es el bajo rendimiento académico de los alumnos. Esta situación se presenta normalmente durante los primeros semestres de los estudios universitarios, ya que gran parte del alumnado presenta distintas y diversas problemáticas, entre ellas un promedio bajo, si no es que reprobatorio; por lo tanto en la mayoría de los casos esto conlleva la deserción estudiantil. En esta etapa, es primordial

el trabajo académico colegiado entre los estudiantes y se intuye que las redes de trabajo académico influyen de manera importante en el rendimiento académico.

Este STI fue desarrollado por investigadores y profesores de la Universidad de Colima en conjunto con la Universidad Autónoma de Baja California. En la actualidad el STI se está implementando con grupos de la generación 2016-2020 de estudiantes de la primera institución. Para la obtención de los datos necesarios se aplicaron 4 encuestas en el módulo de diagnóstico del sistema (las cuales abarcan las áreas de: Hábitos de Estudio, Autoestima, Expresión Oral y Escrita, y Matemáticas [5]), además de una encuesta sobre las redes de trabajo académico y el registro de los promedios de las calificaciones de los participantes.

## Diagnóstico en el STI

El STI desarrollado cuenta con cinco módulos de interacción [5], que son: Diagnóstico (consta de cuatro instrumentos para recabar los conocimientos con los que ingresa el estudiante), SITI (sistema integral de tutoría inteligente consistente de contenido educativo y ejercicios en matemáticas, comunicación oral y escrita, hábitos de estudio y autoestima), SEVI (sistema para la evaluación de vocabulario basado en imágenes), Moodle (manejador de contenido para cursos en línea) y ERúbrica (sistema de gestión de proyectos para redes de colaboración), cuya interfaz se muestra en la Figura 1.

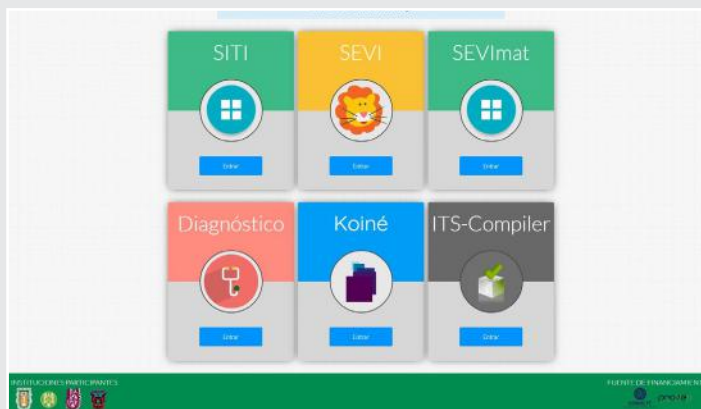


Figura 1. Interfaz del Sistema de Ambiente de Tutoría Inteligente.

## Métricas

Una red se define como un conjunto de elementos llamados nodos o vértices con relaciones entre ellos llamados aristas o bordes.

Por medio de las aristas o bordes se pueden representar distintas relaciones entre las redes, las cuales pueden ser: amistad, conocimiento, relación profesional. Además, permiten representar distintos pesos entre las relaciones como por ejemplo: qué tan bien se conocen dos personas. Los diversos pesos en una arista se pueden representar por medio del grosor de la misma.

Para calcular estas relaciones se hace uso de la teoría de grafos [6] que incluye las métricas que se consideraron para analizar las distintas relaciones entre las redes de interacción. Considerando su relevancia, representatividad e importancia en el estudio se eligieron las siguientes:

**Coefficiente de Agrupamiento (CA):** Calcula la probabilidad de que al elegir un nodo al azar, éste pertenezca a un triángulo.

**Densidad de la red (DR):** Indica las conexiones potenciales que podrían existir en una red.

**Centralización de la red (CR):** Indica el tipo de topología, la cual a mayor centralidad se asemeja a una estrella.

**Heterogeneidad de la red (HR):** Indica el grado de dispersión de los elementos de una red.

**Número promedio de vecinos compartidos (NVC):** Se refiere al número de socios compartidos entre los nodos. Esta métrica está relacionada con la densidad de red, ya que la densidad es una versión normalizada de la misma.

**Diámetro de la red (D):** Indica cuáles son las redes con mayor distancia entre sus nodos por lo tanto son los grupos con mayor número de nodos aislados. De manera contraria, a menor diámetro de red, indica que tienen menor distancia entre sus nodos y por lo tanto mayor coeficiente de agrupamiento.

En todo diseño es de gran importancia conocer qué tanto influye en su progreso la contribución de las herramientas, para lo cual en la presente investigación se estudiaron las redes de interacción de estudiantes dentro del ambiente de tutoría inteligente, para determinar la influencia que tienen dichas redes en el rendimiento académico de los alumnos participantes, través de análisis estadístico y análisis automático de redes de interacción.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En esta sección se describe brevemente el proceso que se llevó a cabo para la obtención de los datos utilizados en esta investigación, del análisis estadístico y del análisis automático de las redes de interacción, mostrado a través de la Figura 2.

## Encuesta

Para la recolección de los datos sobre las redes de estudiantes, se utilizó como herramienta una encuesta. Dicha encuesta es de autoría propia, tomando en cuenta criterios para respuestas en escala tipo Likert y validada por un grupo piloto de 5 usuarios potenciales y dos expertos en elaboración de instrumentos. Para su diseño, se consideraron los datos que se necesitaban obtener para evaluar y/o analizar las redes de interacción: elección de grupo de trabajo, grado de influencia en sus calificaciones, forma de trabajo, frecuencia para pedir ayuda, tipo de relación entre compañeros y calificaciones por periodo.

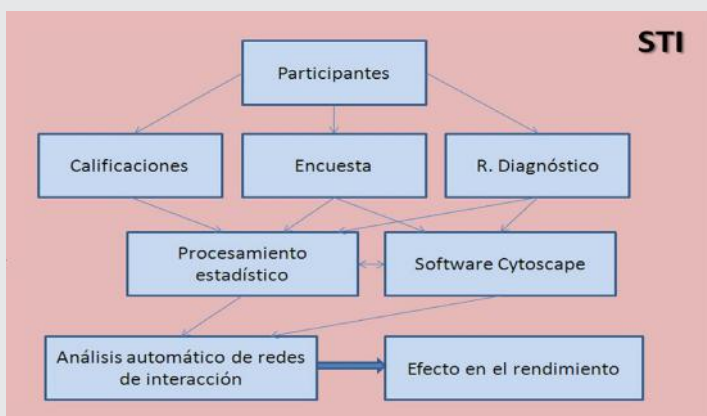


Figura 2. Metodología de la investigación.

### Participantes en el estudio

Los participantes que fueron considerados en este proyecto son alumnos de la Facultad de Telemática, de las carreras de Ingeniería en Telemática e Ingeniería de Software. La población del caso de estudio se delimitó a los alumnos que hacen uso del sistema de tutoría inteligente (STI), de la generación 2016-2020, con un total de 73 estudiantes. La relación por grupo se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de participantes en el estudio.

Grupo	Carrera	Participantes
1	Ing. en Telemática	13
2	Ing. en Telemática	12
3	Ing. de Software	8
4	Ing. de Software	12
5	Ing. en Telemática	9
6	Ing. de Software	12
7	Ing. de Software	7

### Calificaciones

El nivel de desempeño del usuario es una valoración cuantitativa del logro de su aprendizaje en una escala numérica de 0 a 10, considerando como un rendimiento aprobatorio un valor arriba de 6 puntos.

Las calificaciones se obtuvieron por medio del departamento escolar de la Facultad de Telemática. Las que se consideraron para el análisis son las obtenidas tanto en el promedio de bachillerato como las del primer, segundo y tercer semestre de licenciatura de cada uno de los participantes, con las cuales se hizo el análisis de rendimiento.

### Software

Se revisaron varias herramientas de software que se utilizan para el análisis de las redes de interacción, tales como Ucinet [7-8], R y Green software [9], Gephi [10], Cytoscape [11], Netmine [12], Pajek [12-13] y NodeXL [13].

Sin embargo, después de compararlos, evaluar el uso y las capacidades que tienen, el software que se decidió

utilizar para el análisis de las redes de interacción entre los estudiantes, fue el Cytoscape.

Cytoscape es una plataforma de software libre, de código abierto, en el que se visualizan redes de interacción de diferentes tipos. Originalmente este software fue diseñado para la investigación biológica. Sin embargo, ahora se conoce por ser una plataforma general para el análisis y visualización de redes complejas [13]. Cuenta también con APIs de desarrollo para varios lenguajes de programación.

Se optó por trabajar con este software por la sencilla capacidad de visualización de las redes, el tipo de análisis automático que realiza y los formatos de exportación e importación con los que dispone, a diferencia de las otras herramientas de software cuyo manejo es complejo.

### Métricas consideradas

Las métricas que se consideraron para analizar las distintas relaciones entre las redes de interacción, por la representatividad e importancia en el estudio son: densidad de red, centralidad de la intermediación, coeficiente de agrupamiento, centralidad de proximidad, centralización de la red, vecinos compartidos, y coeficiente topológico [14].

Derivado de estas métricas se obtuvieron los resultados necesarios para determinar las relaciones e impactos entre las redes de interacción, las cuales se detallan en la siguiente sección.

### Análisis Estadístico

Para la sección del análisis de la información recabada en el proyecto, se utilizó Excel, R y Minitab [15]. Estas herramientas nos permiten relacionar y administrar los datos obtenidos de las encuestas como de los resultados del STI. Se hicieron diversos análisis de correlación simple y múltiple, así como pruebas de hipótesis y pruebas de normalidad, con el propósito de encontrar la correlación entre rendimiento y los promedios de las evaluaciones en el STI [6].

## RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados más relevantes del estudio. Para ello se describe el análisis de las redes de interacción, a través de sus métricas, y del procesamiento estadístico realizado.

### Análisis de interacción

Cytoscape cuenta con NetworkAnalyzer que es un complemento de Java para este software. El complemento calcula parámetros específicos que describen la topología de la red [14].

En la Figura 3 se pueden observar las siete redes de interacción, las cuales corresponden a cada uno de los 7 grupos que participaron en el estudio. Cada uno de

los nodos corresponde a un estudiante con la matrícula del alumno. De la misma manera se puede identificar que no existe relación alguna entre los grupos, las relaciones se dan sólo entre los miembros del grupo al que corresponden.

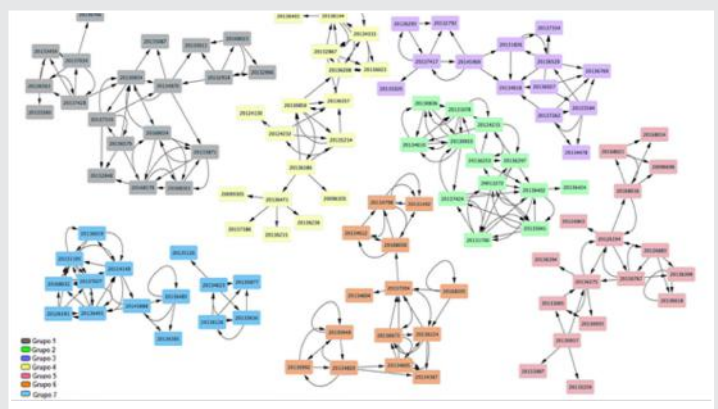


Figura 3. Redes de estudiantes de los grupos 1 a 7 identificadas por matrícula (elaboración propia).

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en Cytoscape, la cual contiene las métricas mencionadas anteriormente y enseguida se hace la descripción de los valores más significativos en los grupos de estudio.

Tabla 2. Resultados de las métricas por grupo, del análisis en Cytoscape.

G	C A	D R	C R	H R	N V C	D
1	0.498	0.179	0.152	0.420	3.400	6
2	0.538	0.333	0.197	0.294	4.000	4
3	0.433	0.275	0.128	0.330	3.571	5
4	0.278	0.170	0.140	0.552	2.889	6
5	0.400	0.175	0.181	0.553	2.625	5
6	0.588	0.242	0.167	0.488	3.143	5
7	0.654	0.233	0.190	0.484	3.500	4

G	Grupo de estudio
C A	Coefficiente de agrupamiento
D R	Densidad de la red
C R	Centralización de la red
H R	Heterogeneidad de la red
N V C	Número promedio de vecinos compartidos
D	Diámetro

El grupo que tiene mayor coeficiente de agrupamiento es el Grupo 7, lo cual indica que este grupo presenta mayor interconexión entre sus compañeros, con un valor de 0.654, con respecto al resto de los grupos. Para la métrica de densidad de la red, la mejor fue la del Grupo 2, con un valor de 0.333, lo cual indica que en esta red existe un mayor potencial de conexiones.

En cuanto a la métrica de centralización de la red, el Grupo 2 fue el que obtuvo mayor puntuación con un valor de 0.197. Esto indica que la topología de esta red es la que más se asemeja a una estrella, por lo tanto presenta mayor centralidad entre los grupos estudiados.

El Grupo 5, fue el que obtuvo mayor puntuación en la métrica de heterogeneidad, con un valor de 0.553, lo cual refleja que tiene mayor número de nodos centrales en la red, esto se puede verificar en la Figura 2 la red de color rosa, ya que se puede observar que existen nodos claves para la relación entre los subgrupos formados dentro de la red. El número promedio de vecinos compartidos, Grupo 2 con un valor de 4, indica que esta red tiene una mayor conectividad. Las redes con mayor diámetro de la red son los grupos 1 y 4, por lo tanto son los grupos con mayor número de nodos aislados.

### Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el Minitab versión 13.20, particularmente para las pruebas de normalidad, homogeneidad de los grupos, pruebas de hipótesis y grados de correlación.

El Test de normalidad de los grupos se realizó para verificar que los datos que se manejan provienen de una distribución normal. Esta característica es requisito indispensable para que los análisis posteriores tengan validez estadística, y para ello se aplicó la prueba de normalidad Anderson-Darling a cada grupo. Esta prueba se aplica solamente antes del análisis de las redes. Si "p" es mayor que 0.05 significa que los grupos provienen de una distribución normal. En el caso de que alguno de los grupos no cumplan esta condición, se sugiere utilizar estadística no paramétrica [15].

En la Tabla 3 se aprecia que los grupos presentan un comportamiento derivado de una distribución normal, por lo que los resultados que se obtengan pueden ser manejados con estadística paramétrica sin ningún problema.

La prueba t de muestreo pareado se utilizó para comprobar las hipótesis de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias de dos variables, en este caso se consideró rendimiento contra resultados de las encuestas de diagnóstico en el STI. Si "p" es menor que 0.05 indica que los grupos presentan la intervención del efecto del uso de la plataforma y por lo tanto los grupos se ven favorecidos, o en otras palabras, hay una diferencia estadísticamente significativa quizá debido a la intervención del uso de la plataforma.

Al realizar la prueba "t" de muestreo pareado en este estudio, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3, lo cual nos indica que en todos los grupos hay una diferencia estadísticamente significativa. En este sentido, se puede considerar que la intervención del uso de la plataforma ha influido positivamente en el rendimiento académico.

La prueba de correlación de Pearson se realizó para determinar el grado de relación entre el rendimiento



(medido por el promedio de las calificaciones de los tres semestres) y el promedio del resultado de las cuatro áreas en el STI. Un valor de "r" mayor que 0.5 indica un alto grado de relación entre las variables [15].

En la Tabla 3 se pueden observar los resultados por grupo al realizar la Prueba de correlación de Pearson, lo cual nos indica que en la mayoría de los grupos existe un alto grado de relación entre las variables, ya que se obtuvo una correlación arriba de 0.5.

Tabla 3. Resultados de la prueba de Hipótesis y Correlación.

Grupo	Test de normalidad	Test de Hipótesis	Coefficiente de Correlación
	P- Value1	P- Value2	r
1	0.101	0.0010	0.538
2	0.932	0.0021	0.432
3	0.211	0.0037	0.499
4	0.171	0.0310	-0.220
5	0.291	0.0020	0.503
6	0.313	0.0050	0.542
7	0.173	0.0290	0.762
P-value1	Indica si los grupos son normales, $p > 0.05$		
P-value2	Indica la aceptación de la hipótesis, $p < 0.05$		
r	Indica el grado de relación entre las variables		

Como ya se mencionó, un aspecto importante en el desarrollo de este proyecto es analizar el efecto del STI en el desempeño de los estudiantes. Para ello se consideraron las calificaciones finales por semestre de cada uno de éstos y se calculó la ganancia en las calificaciones por cada estudiante.

Mientras que, el 59% del total de estudiantes tuvo una ganancia positiva de 0.65 en promedio de primero a segundo semestre, el 57% de los estudiantes registraron una ganancia promedio de 0.69 de primero a tercer semestre. El 8.9% presentó una ganancia negativa de 0.36 puntos, aquí se están incluyendo los alumnos que desertaron por reprobado materias, de primer a tercer semestre. En este sentido se considera que el efecto del uso de la plataforma contribuyó de manera significativa en el estimado de la ganancia promedio positiva.

Al revisar el rendimiento por grupo, el mayor fue el Grupo 7 con 8.81, seguido del Grupo 2 con 8.15, luego el Grupo 6 con 8.02. En cuarto lugar, el Grupo 1 con 7.92, quinto lugar el Grupo 3 con 7.88, después el Grupo 4 con 7.80 y finalmente el Grupo 5 con 7.65. Se aprecia que hay concordancia con las métricas obtenidas para el análisis de las redes de interacción.

## CONCLUSIONES

El análisis de las redes de interacción permitió detectar su impacto en el rendimiento académico e identificar conductas tales como: conexiones entre los subgrupos, elección de compañeros, formas de trabajo aca-

démico o de interés personal, de amistad o afinidad en ciertas actitudes, con el fin de alentar y promover aquellas que benefician a los estudiantes y eliminar aquellas que no. Analizar las redes de interacción de estudiantes a través de métricas derivadas de la teoría de grafos es una contribución novedosa de este estudio.

Al hacer las pruebas de hipótesis, se observó que el impacto que tienen las redes de interacción en el rendimiento académico es estadísticamente significativo, dado que en todos los casos  $p < 0.05$ , y los valores de las métricas de grafos son concordantes con los grupos de acuerdo a su rendimiento. Además, el grado de relación entre las calificaciones y los resultados del sistema de tutoría es alto, en su mayoría.

El efecto del STI y la interacción de las redes académicas en el rendimiento de sus calificaciones fue positivo, reflejado en la satisfacción del trabajo en red de los alumnos participantes en la encuesta aplicada. Ambos aspectos son de suma importancia en la vida académica de todo estudiante por las diversas implicaciones que tiene en ámbitos, tales como el social, técnico, conceptual, y académico.

Como trabajo futuro, una de las acciones importantes por realizar es, si a través de los semestres las interacciones cambiaron o permanecen y cómo éstas pueden seguir influyendo en su rendimiento académico, en la motivación para el estudio, o bien si hay otros patrones de comportamiento social diferentes a las identificadas que se deriven de estas interacciones.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Benmarrakchi, F., Ouherrou, N., Elhammoumi, O. & Kafi, J. (2019). *An innovative approach to involve students with learning disabilities in intelligent learning systems. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, 914, 39-50.*

[2] Durango, J. & Pascuas, Y. (2016). *Los Sistemas Tutores Inteligentes y su aplicabilidad en la educación. Revista Horizontes Pedagógicos, 17(2), 104-116.*

[3] López, D., Álvarez, O., Jordán, A., & Sánchez, D. (2016). *Sistema de Tutores Inteligentes para Ayudar a Estudiantes de Bachillerato en la Solución de Problemas de Matemáticas. Lat. Am. J. Phys. Educ., 10(4), 4312-4319.*

[4] Pérez Galmiche, G. (2017). *La educación superior en México: el rendimiento académico versus deserción académica. Revista Internacional de Estudios sobre Sistemas Educativos, 2(6), 75-91.*

[5] Damian-Reyes, P., Pulido, J., Andrade-Aréchiga, M., Ramos Michel, E., Acosta, R., Fajardo, S., Hernández, A., Tapia, M. & Benítez, A. (2016). *Herra-*

mienta de contextualización del sistema integral de tutores inteligentes. Reporte técnico, Universidad de Colima, México.

[6] Pulido, J., Andrade-Aréchiga, M., Ramos Michel, E. & Damián-Reyes, P. (2016). Tecnologías de información para el análisis exploratorio de redes de interacción. En R. Herrera y L. Barbosa (Eds.) *Tópicos introductorios a la gestión del conocimiento* (pp. 131-162). Ediciones de la noche, México.

[7] Zhang, S. & Fang, Y. (2018). Research on Construction Project Organization Based on Social Network Analysis. *Wireless Personal Communications*, 102 (2), 1867-1877.

[8] Marqués-Sánchez, P., Alfonso-Cendón, J., Fernández-Martínez, M., Liébana-Presa, C., Pinto-Carral, A. & Conde, M. (2015). Cooperative networks and their influence on engagement with nursing students. En *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, TEEM '15*, pp. 65-70, New York, NY, USA. ACM.

[9] Marimuthu, C. & Chandrasekaran, K. (2017). Software Engineering Aspects of Green and Sustainable Software: A Systematic Mapping Study. En *Proceedings of the 10th Innovations in Software Engineering Conference, ISEC '17*, pp. 34-44, New York, NY, USA. ACM.

[10] Smite, D., Moe, N., Sablis, A., & Wohlin, C. (2017). Software teams and their knowledge networks in large-scale software development. *Information and Software Technology*, 86(1), 71-86.

[11] Nepomnyachiy, S., Ben-Tal, N. & Kolodny, R. (2015). CyToStruct: Augmenting the Network Visualization of Cytoscape with the Power of Molecular Viewers. *Structure*, 23(5), 941-948.

[12] Dabkowski, M., Breiger, R. & Szidarovszky, F. (2015). Simultaneous-direct blockmodeling for multiple relations in Pajek. *Social Networks*, 40, 1-16.

[13] Domínguez-Rodríguez, R., Santana, J. & Royo, E. (2015). Monitoring technologies in Suricata model for the formal and informal learning areas. *Third International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, ACM*, 125-129.

[14] Wu, L., Li, M., Wang, J. & Wu, F. (2018). CytoCtrlAnalyser: A Cytoscape app for biomolecular network controllability analysis. *Bioinformatics*, 34(8), 1428-1430.

[15] Miller, I. (2000). *Estadística matemática con aplicaciones*. 6ª. Edición. Pearson educación, México.



Ciencias  
*de la*  
Computación

---

Ingeniantes

# Metodología para obtener mapas del índice de área foliar en cultivos de caña de azúcar

**RESUMEN:** En los últimos años la teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la agricultura de precisión. A través de la información censada de los cultivos, se pueden desarrollar modelos de predicción de cosecha, estimar la capacidad fotosintética de la planta y entender la relación entre acumulación de biomasa y rendimiento, bajo ciertas condiciones ambientales. Lo anterior, se puede lograr a través de la estimación de un índice de vegetación llamado índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) utilizando técnicas de teledetección y a partir del mapa de la zona de interés. Sin embargo, la teledetección tiene algunas limitaciones en cuanto a resolución espacial, espectral y temporal de las imágenes disponibles. Los satélites de observación de la tierra ofrecen imágenes multitemporales que son usadas para evaluar y monitorear el estado de la vegetación. Los satélites Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea forman parte de estas tecnologías. En este artículo se propone una metodología con bibliotecas de software libre para el procesamiento de las imágenes obtenidas del Sentinel-2 para obtener el mapa de LAI del cultivo de la caña de azúcar. La metodología consta de tres fases, (1) descarga, (2) preprocesamiento y (3) modelo retrieval. Los resultados muestran que, a través de la metodología implementada, se puede obtener el mapa del LAI de la zona de interés sembrada con caña de azúcar.

**PALABRAS CLAVE:** Caña de azúcar, imágenes satelitales, mapas del LAI, procesamiento de imágenes, Sentinel-2, teledetección.



## Colaboración

Rodrigo Rodríguez-Ramírez; María Guadalupe Sánchez-Cervantes; Daniel Fajardo-Delgado; Rubén Zepeda-García, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán; Himer Ávila-George; Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara

**ABSTRACT:** In recent years, remote sensing has become a fundamental tool for the development of precision agriculture. Through crop information, crop prediction models can be developed, plant photosynthetic capacity can be estimated, and the relationship between biomass accumulation and yield under certain environmental conditions can be understood. It can be achieved through the estimation of a vegetation index called the leaf area index (LAI) using remote sensing techniques and from the map of the region of interest. However, remote sensing has some limitations in terms of spatial, spectral, and temporal resolution of the available images. Earth observation satellites offer multitemporal images that are used to assess and monitor the state of vegetation. Sentinel-2 satellites of the European Space Agency are part of these technologies. This article proposes a methodology with free software libraries for the processing of images obtained from Sentinel-2 to get the LAI map of the sugarcane crop. The methodology consists of three phases, (1) download, (2) preprocessing, and (3) retrieval model. The results show that through the methodology implemented, the LAI map of the area of interest planted with sugarcane can be obtained.

**KEYWORDS:** Sugarcane, satellite images, LAI maps, image processing, Sentinel-2, remote sensing.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de la agricultura de precisión. A través de ella se puede censar el estado de los cultivos a través de imágenes capturadas desde sensores remotos ubicados en plataformas satelitales o vehículos aéreos tripulados y no tripulados [1]. Con lo anterior, se obtiene información de los cultivos a un bajo costo en comparación con otro tipo de medidas in situ. Hay varios satélites orbitando nuestro planeta perteneciente a diferentes empresas y países. El satélite Sentinel-2 forma parte de

un grupo de satélites del programa Copérnico coordinados por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) y es usado como una herramienta de teledetección para estimar los índices espectrales o parámetros biofísicos de la cubierta vegetal [2]. Este satélite proporciona información de alta resolución, basada en una constelación de dos satélites, Sentinel-2A y Sentinel-2B. Ambos satélites entregan datos con un tiempo efectivo de revisita en el ecuador de cinco días [3]. La resolución proporcionada es temporal, radiométrica y espacial. Cada satélite lleva un sensor multiespectral (MSI, por sus siglas en inglés) capaz de capturar imágenes a 10, 20 y 60 metros en 13 bandas distintas del espectro de luz [4].

Existe una gran cantidad de índices espectrales que estudian diferentes aspectos de la cubierta vegetal. Entre ellos se encuentran, el índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés) [5], el índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI, por sus siglas en inglés) [6], y el índice de estrés hídrico en cultivo (CWSI, por sus siglas en inglés) [7]. El LAI es un parámetro importante en la fisiología de la planta y está relacionado con el crecimiento, la actividad fotosintética y la evapotranspiración [7]. El LAI se definió por primera vez en 1947 [8] como el total de área de una cara de un tejido fotosintético por la unidad de superficie del terreno.

En el contexto de la agricultura de precisión, existe un gran interés por estimar este parámetro debido a que se puede obtener información del crecimiento y salud del cultivo a analizar. La teledetección juega un papel muy importante en la estimación del LAI debido a que se pueden adquirir imágenes a distintas escalas espaciales y de frecuencia temporal [9]. Para llevar a cabo un buen monitoreo de los cultivos se debe considerar una resolución espacial de al menos 20 m y una frecuencia de revisita semanal [10]. La misión Sentinel-2 cumple con estas características y además el acceso a los datos es libre, razones por las cuales se optó por su uso en este trabajo.

Hay diferentes métodos para estimar el LAI, entre los que se encuentran, métodos de regresión paramétrica y no paramétrica, inversión de modelos de transferencia radiativa (RTM, por sus siglas en inglés) y métodos híbridos de regresión [11]. En este estudio se utilizó el RTM generado con la herramienta ARTMO [12].

Cada día son más los investigadores que están aprovechando la información censada por las plataformas satelitales, estudiando y creando nuevos métodos para el estudio de los cultivos. Es posible crear toolboxes, scripts y software para automatizar la obtención e interpretación de la información capturada por los satélites [2]. Se han desarrollado métodos de censado remoto para mejorar las prácticas de cultivo de caña de azúcar, tal es el caso de Kibos- Miwani en Kenya, donde se planteó usar índices como el NDVI y el índice

de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI, por sus siglas en inglés) para mapear parcelas de caña con la finalidad de proporcionar información confiable a la industria azucarera. El procesamiento se llevó a cabo por medio de imágenes satelitales del Landsat-8 con resoluciones de 15 metros por píxel y 8 bandas [13]. En [2] se propone una cadena de procesamiento de imágenes satelitales para estimar parámetros biofísicos utilizando datos del Sentinel-2. Los autores en [2] proporcionan una comparación sistemática de la precisión de la recuperación y la velocidad de procesamiento de varios métodos de recuperación paramétricos, y no paramétricos utilizando datos simulados del Sentinel-2. Se ha propuesto una metodología utilizando la inversión del modelo de transferencia radiativa PROSAIL a través del método de regresión de proceso gaussiano no lineal (GPR, por sus siglas en inglés) de última generación, para la recuperación del LAI de alta resolución a partir de los satélites Landsat y SPOT5 y se validaron los resultados utilizando series temporales de mediciones del LAI in situ recolectadas durante la temporada de arroz en España e Italia [14].

El monitoreo de los cultivos durante las etapas de su desarrollo es muy importante, porque a través de él se pueden detectar anomalías a tiempo y con ello minimizar las pérdidas en su productividad. Para llevar a cabo lo anterior, se debe obtener un mapa con la información suficiente de la zona de interés. Son pocos los agricultores que actualmente aprovechan las ventajas que ofrece la teledetección a través de satélites.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología cuya implementación se lleve a cabo con bibliotecas de software libre para obtener el mapa del LAI del cultivo de caña de azúcar a partir de imágenes obtenidas del Sentinel-2. Como caso de estudio se eligió el cultivo de caña de azúcar ya que Jalisco es el segundo mayor productor del país solo por debajo de Veracruz y hay pocos trabajos reportados en este sentido.

La metodología utilizada la componen tres fases: la descarga de las imágenes, el pre-procesamiento y el modelo retrieval.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta la metodología empleada para el procesamiento de las imágenes con la finalidad de obtener los mapas del LAI; en el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos del trabajo y por último en el capítulo 4 se dan a conocer las conclusiones a las que se llegó.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Con el fin de obtener los mapas del LAI de la zona de interés, se definieron tres fases: descarga de imágenes, pre-procesamiento y modelo retrieval (ver Figura 1). A continuación, se explica a detalle cada una de ellas.

Al finalizar esta fase, las imágenes se encuentran descargadas y en formato comprimido.

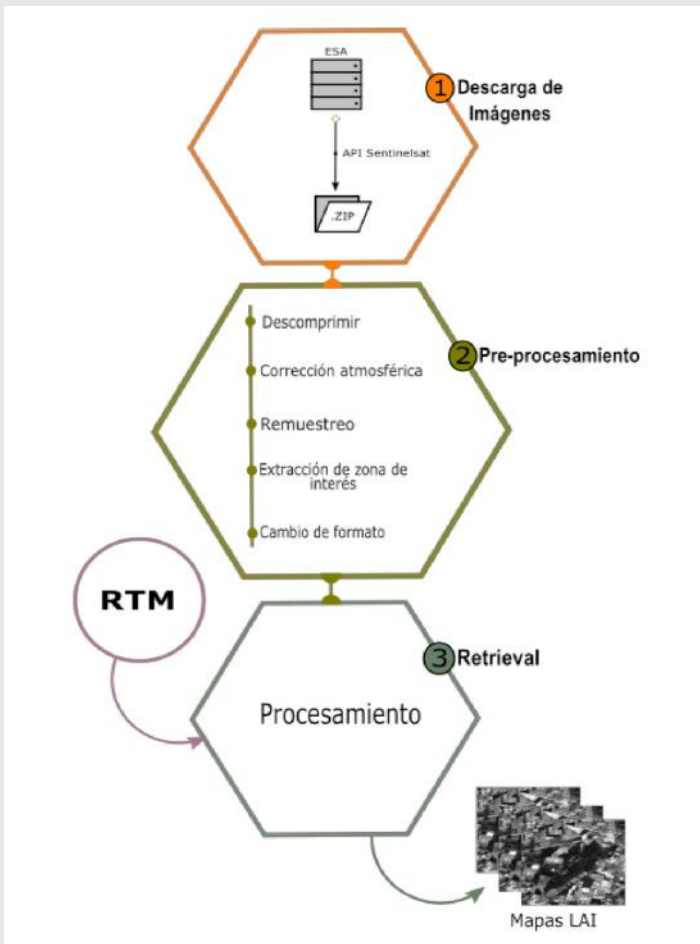


Figura 1. Metodología empleada para obtener mapas del LAI.

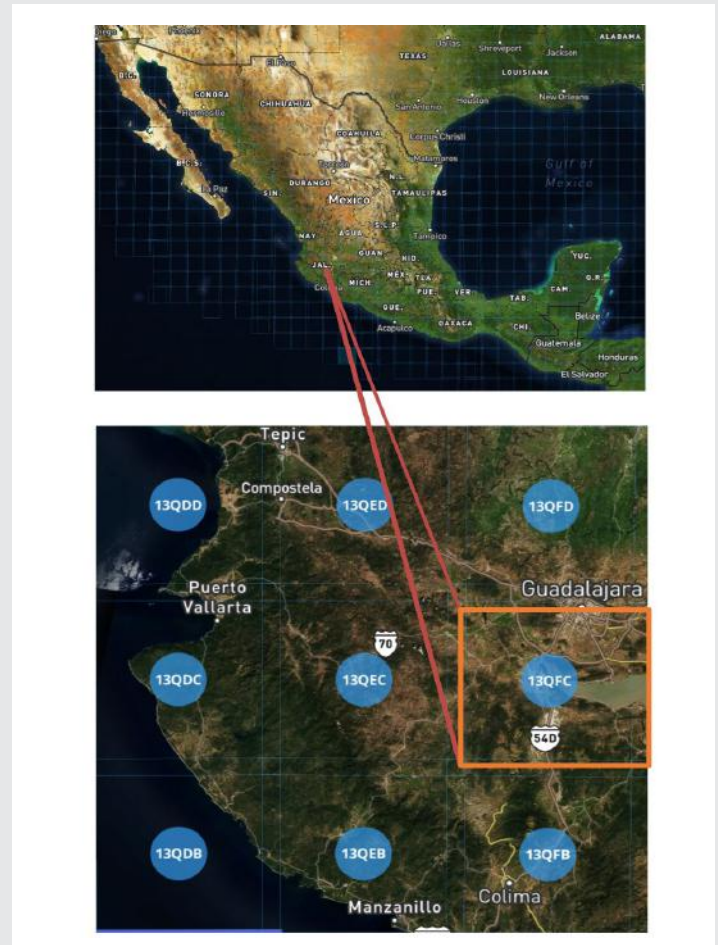


Figura 2. Localización de las zonas de estudio. Zona centro-norte de Jalisco

### Fase de descarga de imágenes

Las imágenes se descargaron de los servidores de la ESA, donde se encuentran almacenadas todas las imágenes censadas por los satélites, a través de la API SentinelSat. Se tomó como caso de estudio el cultivo de la caña de azúcar sembrada en la zona centro-norte del estado de Jalisco, específicamente en el municipio de Ameca (ver Figura 2).

El mapa está dividido por "tiles", para identificar cada región en el mapa, por ejemplo, los "tiles" etiquetados con 13QDC, 13QEC, 13QFC de la figura 2, pertenecen a ciertas zonas del estado de Jalisco. Estos "tiles" permiten elegir zonas específicas sin la necesidad de tener que descargar una imagen de gran tamaño.

Se descargaron las imágenes del "tile" identificado como "13QFC" que comprenden la zona del municipio de Ameca, Jal., con coordenadas ( -103.91212463378906, 20.558384822815057; -103.8823413848877, 20.558384822815057; -103.8823413848877, 20.578554992113766; -103.91212463378906, 20.578554992113766; -103.91212463378906, 20.558384822815057).

### Fase de Pre-procesamiento

Para llevar a cabo el pre-procesamiento de las imágenes descargadas se utilizó el software SNAP. El pre-procesamiento consistió de 3 etapas, (a) corrección atmosférica, (b) re-muestreo y (c) extracción de la zona de interés. Antes de iniciar con la corrección atmosférica, las imágenes se tuvieron que descomprimir, pues las imágenes de entrada a esta fase se encuentran en formato comprimido. A continuación, se explica cada una de estas etapas.

a) Corrección atmosférica. Las imágenes descargadas pueden contener información no deseada como nubosidad, por lo que es importante eliminar este tipo de información. Se filtró la imagen con el porcentaje de nubosidad de 0-50%.

b) Remuestreo. El remuestreo consistió en homogeneizar la resolución espacial de las imágenes descargadas, pues se encuentran en 10, 20 y 60 metros por píxel. Para este artículo se eligió homogeneizarlas a la resolución de 10 m.

c) Extracción de la zona de interés. La zona que abarcan las imágenes descargadas es una extensión de terreno muy grande (ver Figura 3). Con la finalidad de reducir el tamaño, peso y para que el procesamiento sea más rápido, se extrajo sólo la zona de interés donde se encuentra el cultivo de caña de azúcar.



Figura 3. Imágenes capturadas desde el satélite Sentinel-2: a) Zona del 05/10/2018. b) Zona del 01/08/2019.

**Fase Retrieval**

Esta fase recibió, por un lado, el modelo de transferencia radiativa (RTM, por sus siglas en inglés) generada en ARTMO y, por otro lado, las imágenes pre-procesadas. Al finalizar esta fase se generaron los mapas del LAI correspondiente a las zonas de interés.

**RESULTADOS**

Con el objetivo de implementar la metodología propuesta, se ejecutaron los experimentos en una computadora personal con las siguientes características en hardware: Intel Core i7 8700 (hexa-core), 8 GHz en RAM, y bajo el sistema operativo Windows 10 Pro de 64 bits. Se codificaron las fases de la metodología utilizando el lenguaje de programación Python 3.7 y se utilizó la herramienta SNAP.

Como caso de estudio se consideró el cultivo de caña de azúcar en el estado de Jalisco para generar los mapas de LAI. Se tomó en cuenta dos días de los meses de octubre

de 2018 y agosto de 2019, ya que son meses en que la caña está en crecimiento.

En la Figura 4 se muestran las imágenes obtenidas del satélite correspondientes al 5 de octubre del 2018 y del 1 de agosto del 2019. Como puede observarse, la vegetación ha cambiado en esta zona de interés ya que se muestra un cambio en la coloración. Para analizar mejor esta diferencia, se obtiene el mapa de LAI de ellas.

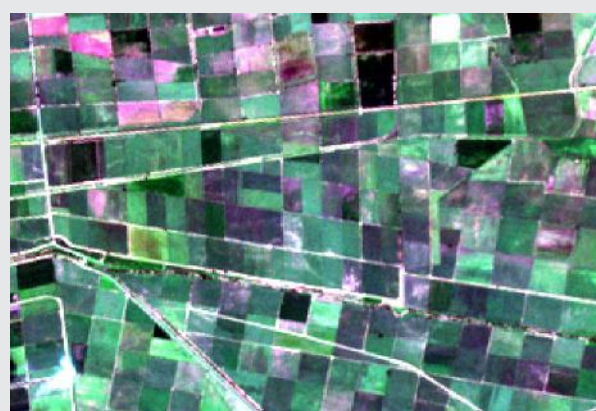
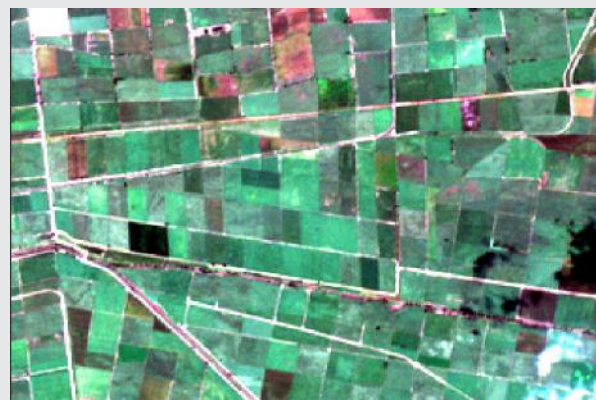


Figura 4. Imágenes para procesar:

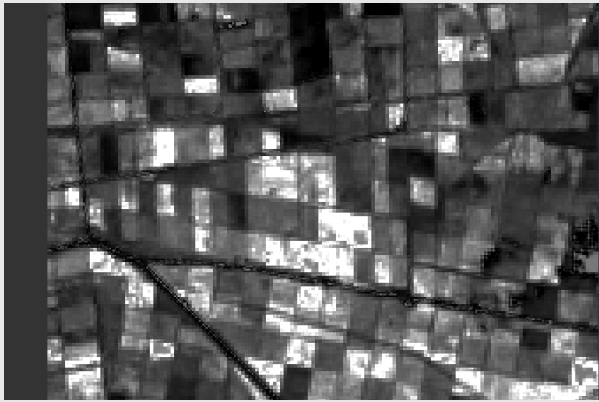
a) Fecha: 05-10-2018, b) Fecha: 01-08-2019.

En la Figura 5 se muestran los mapas de LAI de las imágenes capturadas correspondiente a estas fechas, y en la Tabla 1 se compara el índice de área foliar tomando en cuenta 10 píxeles de cada una de ellas. Es importante mencionar que cada píxel corresponde a 10 m<sup>2</sup> de la superficie terrestre. Como se puede observar en esta tabla, el LAI disminuyó transcurridos los 10 meses.

En la Figura 6 se muestra gráficamente los resultados obtenidos del LAI global de las imágenes para las dos fechas de los casos de estudio. Como se puede ver en esta figura, el índice de área foliar de esta zona disminuyó, de 6.81 a 5.57. Esto nos indica que hubo un decremento del 18% en el dosel de la vegetación y, por lo tanto, de la capacidad de captura de luz. Esta disminución pudo haberse producido por varios factores, falta de agua,

deficiencia bioenergética, plagas, enfermedades en el follaje, entre otros.

tinel-2 para obtener los mapas de LAI del cultivo de caña de azúcar.



a)



b)

Figura 5. Mapa de LAI:

a) Fecha: 05-10-2018, b) Fecha: 01-08-2019.

A partir de la obtención de este índice, el agricultor puede tomar decisiones importantes para incrementar su producción, tomando en cuenta las ventajas que ofrece el sentinel-2.

La obtención del mapa de LAI y el LAI utilizando teledetección a través de satélites, tiene algunas ventajas y desventajas respecto a otras tecnologías. Como ventajas se puede mencionar que es más económico (las imágenes se descargan de manera gratuita en sentinel-2), y es recomendable aplicarlo para cultivos extensivos que no necesiten informes muy precisos. Por otro lado, es dependiente de la climatología y posee un máximo de 10m de precisión.

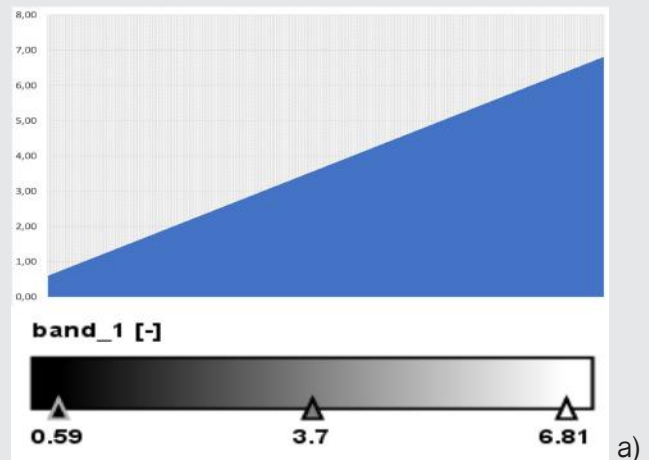
El sentinel-2 permite un mayor nivel de detalle con su resolución espacial, en comparación con otras tecnologías satelitales.

## CONCLUSIONES

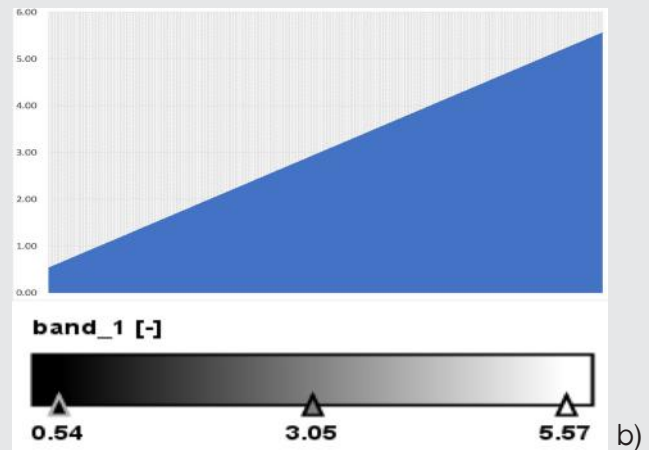
En este artículo se presenta una metodología del procesamiento de las imágenes obtenidas del satélite sen-

Tabla 1. LAI de 10 píxeles.

Píxel	LAI 05-10-2018	LAI 01-08-2019
1	6.60	5.39
2	6.62	5.41
3	6.64	5.43
4	6.66	5.45
5	6.68	5.47
6	6.71	5.49
7	6.74	5.51
8	6.76	5.53
9	6.79	5.55
10	6.81	5.57



a)



b)

Figura 6. LAI: a) Fecha: 05-10-2018, b) Fecha: 01-08-2019.

Los resultados obtenidos de la metodología propuesta muestran la generación de los mapas de LAI considerando dos fechas específicas con un intervalo de 10 meses. El LAI obtenido trascurrido este intervalo, disminuyó en un 18% con respecto al LAI de la primera fecha, lo que indica que hubo un decremento en el dosel del cultivo de la caña de azúcar. A partir de esto, se tendría que hacer un análisis más detallado de los factores que influyeron en esta disminución.

Las fases que comprende la metodología propuesta pueden aplicarse a cualquier otro cultivo y a cualquier



otra parte del planeta tierra. Esta metodología es de gran apoyo a la agricultura de precisión, pues se puede obtener información útil de los cultivos y apoyar en la toma de decisiones para incrementar la producción. Además, el uso del sentinel-2 es más económico que otras tecnologías de teledetección, y permite mayor nivel de detalle con su resolución espacial respecto a otros satélites.

Como trabajo futuro se pretende realizar el estudio temporal del cultivo de la caña de azúcar de la zona centro-norte de Jalisco, considerando el índice de área foliar y las etapas fenológicas de dicho cultivo.

#### AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la subvención financiera otorgada a través de la beca # 626527 y el 2do., 4to. y 5to. autor, agradecen al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado con número 5826.19-P.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] Zuleta, A. M. P., & Sanjuán, E. D. J. Z. (2018). Agricultura de Precisión en Colombia utilizando Teledetección de Alta Resolución. *Suelos Ecuatoriales*, 48(1 y 2), 41-49.

[2] Rodríguez-Ramírez, R., Sánchez, M. G., Rivera-Cañedo, J. P., Fajardo-Delgado, D., & Ávila-George, H. (2018, October). Automating an Image Processing Chain of the Sentinel-2 Satellite. In *International Conference on Software Process Improvement* (pp. 216-224). Springer, Cham.

[3] Sentinel.esa.int, 2019. Sentinel-2 - Overview - Sentinel Online, [Online]. Available: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>

[4] Sandoval, M. P., Urrego, E. P., Ruiz-Verdu, A., Gil, N. C. T., Delegido, J., Perpiñá, J. S., ... & Méndez, J. M. (2019). Calibration and validation of algorithms for the estimation of chlorophyll-a concentration and Secchi depth in inland waters with Sentinel-2. *Limnetica*, 38(1), 471-487.

[5] Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacón, S. P., & Hernández-Stefanoni, J. L. (2018). Modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco usando imágenes de satélite de alta resolución. *Madera y bosques*, 24(3).

[6] Robinson, N., Allred, B., Jones, M., Moreno, A., Kimball, J., Naugle, D., ... & Richardson, A. (2017). A dynamic Landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8), 863.

[7] Camino, C., Zarco-Tejada, P., & González-Dugo, V. (2018). Effects of heterogeneity within tree crowns

on airborne-quantified SIF and the CWSI as indicators of water stress in the context of precision agriculture. *Remote Sensing*, 10(4), 604.

[8] Watson, D. J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of botany*, 11(41), 41-76.

[9] Caballero, G. R. (2018). Estimación del LAI de la vegetación a partir de la sinergia Sentinel 1-Sentinel 2.

[10] Pasqualotto, N., Delegido, J., Pezzola, A., Winschel, C., & Moreno, J. (2019, September). Estimación del contenido de clorofila a nivel de cubierta (CCC) en cultivos: Comparativa de índices de vegetación y el producto de nivel 2A de Sentinel-2. In *Proceedings of the XVIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Valladolid, Spain* (pp. 24-27).

[11] Verrelst, J., Malenovský, Z., Van der Tol, C., Camps-Valls, G., Gastellu-Etchegorry, J. P., Lewis, P., ... & Moreno, J. (2019). Quantifying vegetation biophysical variables from imaging spectroscopy data: a review on retrieval methods. *Surveys in Geophysics*, 40(3), 589-629.

[12] Verrelst, J., & Rivera, J. P. (2017). A global sensitivity analysis toolbox to quantify drivers of vegetation radiative transfer models. In *Sensitivity Analysis in Earth Observation Modelling* (pp. 319-339). Elsevier.

[13] Verrelst, J., Malenovský, Z., Van der Tol, C., Camps-Valls, G., Gastellu-Etchegorry, J. P., Lewis, P., ... & Moreno, J. (2019). Quantifying vegetation biophysical variables from imaging spectroscopy data: a review on retrieval methods. *Surveys in Geophysics*, 40(3), 589-629.

[14] Campos-Taberner, M., García-Haro, F. J., Camps-Valls, G., Grau-Muedra, G., Nutini, F., Crema, A., & Boschetti, M. (2016). Multitemporal and multiresolution leaf area index retrieval for operational local rice crop monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 187, 102-118.

## Agradecimientos

El Instituto Tecnológico Superior de Misantla a través del Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología y la Revista Ingeniantes, agradecen al Instituto Tecnológico de Colima por su valiosa colaboración y apoyo para la publicación: Año 6, No. 2, Vol. 2, correspondiente a diciembre 2019 de la revista Ingeniantes; con la participación de más de 80 investigadores de 15 instituciones de educación superior del País, con el objetivo de difundir los resultados de las investigaciones presentadas en el Congreso Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica 2019, del Instituto Tecnológico de Colima.

# Ingeniantes



Congreso  
Nacional de  
Ciencia e  
Innovación  
Tecnológica  
2019

**Ingeniantes**

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla