

ISSN EN TRÁMITE

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA

SIMPOSIO IBEROAMERICANO
MULTIDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS E INGENIERÍAS

SEPTIEMBRE 2017



**SIMPOSIO IBEROAMERICANO
MULTIDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS E INGENIERÍAS**

22 DE SEPTIEMBRE 2017

SIMPOSIO IBEROAMERICANO MULTIDISCIPLINARIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS.- Año 5, No. 5. SEPTIEMBRE 2017.
Es una publicación anual, editada por la Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20 Ex Hacienda de Santa Bárbara, Municipio de Zempoala, estado de Hidalgo, CP. 43830, Tel: 01-771-5477510, www.upp.edu.mx, marcovera@upp.edu.mx
Editor responsable UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA, Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2013-102511083900-203 otorgado por el INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR e ISSN EN TRÁMITE.
Responsable de la última actualización de este número DR. FRANCISCO RAFAEL TREJO MACOTELA, Dirección de Investigación, Innovación y Posgrado de la Universidad Politécnica de Pachuca, Carretera Pachuca- Cd. Sahagún Km. 20 Ex Hacienda de Santa Bárbara, Municipio de Zempoala estado de Hidalgo, CP. 43830, Tel 01-771-5477510. Fecha de última modificación 22 de septiembre de 2017. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Politécnica de Pachuca.

Directorio

Directiva

MTRA. SAYONARA VARGAS RODRÍGUEZ
Secretaría de Educación Pública de Hidalgo

ING. JUAN BENITO RAMÍREZ ROMERO
Subsecretario de Educación Superior y Media Superior

DR. MARCO ANTONIO FLORES GONZÁLEZ
Rector de la Universidad Politécnica de Pachuca

Editor

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PACHUCA

Comité Editorial

DR. FRANCISCO RAFAEL TREJO MACOTELA
Responsable de la edición
trejo_macotela@upp.edu.mx

Diseñador

MTRO. LEONEL LÓPEZ SILVA
leonel@upp.edu.mx

Compilador

MTRO. MARCO ANTONIO VERA JIMÉNEZ
averamarco@prodigy.net.mx

Comité Organizador

Dr. Francisco Rafael Trejo Macotela

Presidente del Comité Organizador

M.I.E.F. Elizabeth Olmos Blanquel

Coordinadora de Logística

Psic. Patricia Briseño González

Coordinadora de Logística

Dr. Alejandro Téllez Jurado

Coordinador del área de Ciencias Biológicas y de la Salud

M.C. Brenda Berenice García Escorza

Coordinador del área de Ciencias Biológicas y de la Salud

M.C.E. Verónica Vázquez Chacón

Coordinador del área de Ciencias Biológicas y de la Salud

M. en C. Juan Augusto Valdez Hernández

Coordinador del área de Ciencias Biológicas y de la Salud

Dr. Luis Adrián Lizama Pérez

Coordinador del área de Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas

Dr. Daniel Robles Camarillo

Coordinador del área de Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas

Dr. Eric Simancas Acevedo

Coordinador del área de Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas

M. en C. Luis Alberto Zamora Campos

Coordinador del área de Ciencias de la Ingeniería

Dr. Armando Irvin Martínez Pérez

Coordinador del área de Ciencias de la Ingeniería

Comité de Árbitros

Dr. MAAR

Dr. JAC

Dra. XTJ

Dr. JCRC

Dr. LALP

Dr. RGMA

Dr. AIMP

Mtra. VVC

Mtra. RMCA

Mtro. GVG

Universidad Politécnica de Pachuca, México.

Dr. CAGA

Dr. JCR

Dra. ADRG

Dr. FACE

Dr. OJSS

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Dr. JPZDP

Dr. CAIB

Universidad Politécnica de Querétaro, México.

Dr. MALJ

Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, México.

Presentación

El Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías (SIMCI) es un evento bianual organizado por la Universidad Politécnica de Pachuca y anual para la edición de su revista digital. En esta quinta edición del SIMCI, además de la edición de la presente revista digital, también se celebró el Simposio en la Cd. de Pachuca, Hidalgo. Para la edición de las memorias en extenso se abrió una convocatoria nacional e internacional para el envío y posterior recepción y revisión de artículos de corte científico y tecnológico. Estos trabajos fueron revisados por investigadores nacionales de reconocido prestigio haciendo énfasis en tres ejes temáticos: Ciencias Biológicas y de la Salud; Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas; y Ciencias de la Ingeniería. En este documento final se presentan los trabajos que fueron revisados y aceptados para ser presentados en el Simposio así como en la presente REVISTA DIGITAL SIMPOSIO IBEROAMERICANO MULTIDISCIPLINARIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS.

La presente edición de la revista digital de SIMCI, en la primera sección se presenta el artículo Remoción de Contaminantes Microbiológicos Presentes en Agua de Escorrentía Urbana Mediante Pavimentos Permeables Fotocatalíticos por Ortega-Villar Rosangel, Coronel-Olivares Claudia, Lizárraga-Mendiola Liliana, Beltrán-Hernández Rosa Icela, Lucho-Constantino Carlos Alexander, Vázquez-Rodríguez Gabriela A., con adscripción en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México y la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la segunda sección se presenta el artículo Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-Columna con Biomasa Aerobia por González-Carmona Aislinn Selene, Baños-Rodríguez Ubaldo, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la tercera sección se presenta el artículo Xilanisas de Microorganismos y su Aplicación en la Industria Alimentaria por Bonnet Kassandra, Mendoza Bethsua, Hernández Carmin, Álvarez Jorge, Hernández Edna María, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México y en el Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, México; en la cuarta sección se presenta el artículo Biosíntesis de Nanopartículas de ZnO con Extracto Acuoso de Mucílago de *Opuntia Amychlaea* por Francisco-Escudero Juan, Villanueva-Ibáñez Maricela, Lucho-Constantino Carlos Alexander, Coronel-Olivares Claudia, Hernández-Pérez María De Los Ángeles, Flores-González Marco Antonio, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, México y en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México; en la quinta sección se presenta el artículo Liberación de Péptidos

Antioxidantes por medio de la Hidrólisis Enzimática del Concentrado Proteico de *Phaseolus vulgaris* cv Negro Primavera-28 por Mendoza-Jiménez Y.L., Eusebio-Moreno J.C., Álvarez-García R., Abreu-Corona A., Téllez-Jurado A., Tovar-Jiménez X. con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México y la Universidad Autónoma Metropolitana, México; en la sexta sección se presenta el artículo Electrocardiógrafo como Herramienta de Aprendizaje: Propuesta Preliminar por Sosa Villaraux Aldo, Sandoval González Oscar Osvaldo, González Sánchez Blanca Estela, Flores Cuautle José De Jesús Agustín, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Orizaba, México; en la séptima sección se presenta el artículo Ejercicios de Reeducación Postural para Aumento de Arco de Movimiento y Disminución del Dolor en Síndrome de Disfunción Temporomandibular por Hernández-Pérez Mariana, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la octava sección se presenta el artículo Sistema de Telemetría para una Red de Celdas Fotovoltaicas Instaladas en Invernadero Agrícola por Granados-Pastrana Oswaldo Josue, Pérez-Pérez Eucario, Téllez-Jurado Alejandro, Ramos-Fernández Julio, Luna-Cruz David, Cervantes-Camacho Ilse, Robles-Camarillo Daniel, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México; en la novena sección se presenta el artículo Sistema Inteligente para Validar una Lista de Control de Acceso (ACL) en una Red de Comunicaciones por Hernandez Talhia, Salazar Pedro, Soto Saul, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, México; en la décima sección se presenta el artículo Diseño y Desarrollo de un Sistema de Telemetría para el Internet de las Cosas en la Agricultura de Precisión por Hernández-Salazar Jorge, Ramos-Fernández Julio, Márquez-Vera Marco, Pessel-Nathalie, Balmat Jean François, con adscripción en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México, y en la University of South-Toulon-Var, France; en la décima primera sección se presenta el artículo Análisis de la Estructura Base de un Elevador para Personas Discapacitadas en el Edificio K de la UTHH por Hernández-Alvarado Oralio, Álvarez-Álvarez Joaquín, López-Zavala Adolfo, con adscripción en la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Hidalgo, México.

Contenido

Artículo	Página
EJE TEMÁTICO: CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD (CBS)	
Remoción de Contaminantes Microbiológicos Presentes en Agua de Escorrentía Urbana Mediante Pavimentos Permeables Fotocatalíticos	1-6
Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-Columna con Biomasa Aerobia	7-11
Xilanisas de Microorganismos y su Aplicación en la Industria Alimentaria	12-18
Biosíntesis de Nanopartículas de ZnO con Extracto Acuoso de Mucílago de <i>Opuntia Amychlaea</i>	19-27
Liberación de Péptidos Antioxidantes por medio de la Hidrólisis Enzimática del Concentrado Proteico de <i>Phaseolus vulgaris</i> cv Negro Primavera-28	28-31
Electrocardiógrafo como Herramienta de Aprendizaje: Propuesta Preliminar	32-35
Ejercicios de Reeducación Postural para Aumento de Arco de Movimiento y Disminución del Dolor en Síndrome de Disfunción Temporomandibular	36-38
EJE TEMÁTICO: CIENCIAS COMPUTACIONALES, COMUNICACIONES Y FINANZAS (CCCF)	
Sistema de Telemetría para una Red de Celdas Fotovoltaicas Instaladas en Invernadero Agrícola	39-44
Sistema Inteligente para Validar una Lista de Control de Acceso (ACL) en una Red de Comunicaciones	45-50
Diseño y Desarrollo de un Sistema de Telemetría para el Internet de las Cosas en la Agricultura de Precisión	51-57

EJE TEMÁTICO: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA (CI)

Análisis de la estructura base de un elevador para personas
discapacitadas en el Edificio K de la UTHH 58-63

*Formato para los Artículos del Simposio Iberoamericano
Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2017*

Remoción de Contaminantes Microbiológicos Presentes en Agua de Escorrentía Urbana Mediante Pavimentos Permeables Fotocatalíticos

Ortega-Villar Rosangela^{1,2}, Coronel-Olivares Claudia¹, Lizárraga-Mendiola Liliana³, Beltrán-Hernández Rosa Icela¹, Lucho-Constantino Carlos Alexander¹, Vázquez-Rodríguez Gabriela A.¹

¹ Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, 42190 Mineral de la Reforma, Hgo., México.

² Universidad Politécnica de Pachuca, Carr. Pachuca-Cd. Sahagún Km 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara, 43830 Zempoala, Hgo., México.

³ Área Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Recibido: 28 de agosto de 2017; Aceptado: 12 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

Los pavimentos permeables son tecnologías de bajo impacto que permiten mitigar los efectos negativos del agua de escorrentía urbana, ya que permiten su infiltración y le proporcionan un cierto tratamiento. En este estudio se evaluó la capacidad de remoción de contaminantes microbiológicos en pavimentos permeables provistos de una capa fotocatalítica de nanopartículas de Fe_2O_3 . Se elaboraron especímenes de pavimentos permeables que presentaron una permeabilidad ($677.9 \text{ L/m}^2\text{-min}$) y una resistencia a la compresión (78.28 kg/cm^2) adecuadas de acuerdo con el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Estos pavimentos se recubrieron con una capa de nanopartículas de Fe_2O_3 en dos diferentes concentraciones (3% y 5%), que recibieron agua de escorrentía sintética con uno de los siguientes indicadores microbiológicos en concentración conocida: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* o *Enterococcus faecalis*. Los pavimentos permeables removieron los contaminantes microbiológicos en este orden: *E. coli* > *P. aeruginosa* > *E. faecalis*. Aunque aún resta por elucidar si la presencia y la concentración de las NP son relevantes, los pavimentos permeables demostraron su potencial en la reducción de la carga microbiana del agua de escorrentía urbana.

Palabras clave: Desinfección, infiltración, nanopartículas, tecnologías de bajo impacto

Abstract (CBS)

Pervious pavements are low-impact developments that allow the mitigation of the negative impacts of urban runoff, because they enable its infiltration and treatment. In this study, we evaluated the microbial removal capacity of pervious pavements covered by a photocatalytic layer of Fe_2O_3 nanoparticles. Pervious concrete specimens were made, which presented a water permeability ($677.9 \text{ L/m}^2\text{-min}$) and a compressive strength (78.28 kg/cm^2) complying with the Mexican standards. These pavements were covered by a photocatalytic layer of Fe_2O_3 nanoparticles at two concentrations (3% and 5%). After activation, the specimens received synthetic urban runoff with one microbial indicator (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* or *Enterococcus faecalis*) at known concentration. The specimens removed the indicator in the following order: *E. coli* > *P. aeruginosa* > *E. faecalis*. Although the role of the nanoparticles has to be elucidated yet, the pervious pavements demonstrated their potential in the reduction of the microbial pollution of urban runoff.

Keywords: Disinfection, infiltration, low-impact development, nanoparticles

INTRODUCCIÓN

El agua de escorrentía urbana (AEU) es el componente del ciclo hidrológico que representa la acumulación de agua pluvial en áreas urbanizadas. Se le asocia con varios efectos ambientales negativos; en primer lugar, es la causa más frecuente de inundaciones en el medio urbano (Vázquez-Rodríguez e Iturbide, 2015). En segundo lugar, el AEU vehicula

numerosos contaminantes, razón por la cual se le considera una fuente de contaminación difusa importante, quizás la más significativa en países industrializados. Para mitigar estos problemas, existen las tecnologías de bajo impacto (LID por sus siglas en inglés), que también permiten la prevención de la contaminación que representa el AEU y la mejora de ecosistemas urbanos (Baek et al., 2015). Así, el objetivo de las técnicas LID es reducir *in situ* el volumen del agua de

escorrentía reestableciendo la capacidad de infiltración de las superficies urbanas (Martin-Mikle et al., 2015). Entre las tecnologías LID más comunes se encuentran las celdas de biorretención, las azoteas verdes y los pavimentos permeables (Ahiablame et al., 2012). Un pavimento permeable típico consiste en una mezcla de concreto elaborado con poco o ningún agregado fino, lo que forma poros más grandes en su estructura que en un concreto convencional (Haselbach et al., 2006). Estos poros son los que facilitan la infiltración del agua y por tanto la recarga de los acuíferos subyacentes (Bentz, 2008). Asimismo, son comparables a un filtro, y permiten mejorar la calidad del agua que reciben. Sin embargo, existen muy pocos reportes que señalen su eficacia en la remoción de los contaminantes típicos de las escorrentías urbanas. Para potenciar su efectividad, recientemente se han desarrollado pavimentos permeables con una capa fotocatalítica en la superficie, por lo general a base de nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2). No obstante, el uso del TiO_2 se cuestiona cada vez más, ya que diversos estudios han sugerido daños potenciales a la salud humana y de los ecosistemas (Zhu et al., 2012).

En este trabajo se exploró la posibilidad de remover los contaminantes microbiológicos presentes en un AEU sintética en pavimentos permeables provistos de una capa fotocatalítica de nanopartículas de Fe_2O_3 .

METODOLOGÍA

Se elaboraron los pavimentos permeables con los materiales especificados en Tabla 1, los cuales se introdujeron en una revolvedora mecánica de marca Gilson y se mezclaron por minuto y medio. La mezcla se vació en moldes de PVC de 15 cm de diámetro y 10 cm de altura. Transcurridas 24 h, los especímenes se introdujeron a una máquina de curado por 5.25 h \pm 30 min (INVE-412-07).

Tabla 1. Proporción y granulometría de los materiales

Para 1m ³		Granulometría de la Grava	
Material	Porcentaje	No. De Tamíz	Porcentaje
Agua	140 Lt.	1/2"	40%
Arena	127.5 kg/m ³	3/8"	30%
Cemento	350 kg/m ³	1/4"	20%
Grava	1275 kg/m ³	No. 4	10%

Los especímenes se dejaron secar totalmente antes de que se les aplicara la capa fotocatalítica, para lo cual se emplearon nanopartículas (NP) de Fe_2O_3 en polvo (< 50 nm, Sigma Aldrich). Se probaron dos proporciones de NP en el recubrimiento (3% y 5% de NP de acuerdo al peso del cemento), que se mezclaron con 20 g de cemento y 10 mL de agua (Hassan et al., 2012). Para el espécimen testigo, se sustituyeron las NP por suelo (la cantidad utilizada fue 3%, ya que si se adiciona más suelo pueden obstruirse los poros superficiales del pavimento permeable). La mezcla húmeda se aplicó con una brocha.

Los especímenes se analizaron por espectrometría de fotoelectrones con fuente de rayos X (XPS). Para las pruebas de resistencia a la compresión se elaboraron cilindros de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro (siguiendo la granulometría indicada en la Tabla 1). Los cilindros se colocaron en la máquina de compresión (Controls modelo 50-C43C04) y se les aplicó presión hasta llegar a la falla; en ese momento la máquina señaló el valor de la carga resistida (IMCYC, 2011). Para las pruebas de permeabilidad se elaboró una loza de 7 cm de espesor y con un área de 15 cm x 15 cm (siguiendo la granulometría de la Tabla 1). Se vertieron 15 L de agua a la losa permeable y se tomó el tiempo de infiltración del agua a través de la losa.

En la preparación del agua sintética microbiológica se utilizaron *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterococcus faecalis*. Primero, estos se sembraron en agar de soya tripticaseína y se incubaron a 37°C por 24 h. Luego se tomó una asada y se sembró en caldo de soya tripticaseína, tras lo cual se midió la absorbancia a 550 nm. Con este valor se hizo una interpolación utilizando la escala de McFarland, para conocer la concentración bacteriana en el caldo nutritivo. El agua sintética microbiológica se preparó por separado para cada microorganismo.

Los pavimentos permeables fotocatalíticos se activaron utilizando una lámpara UV de la marca Entela® con una longitud de onda de 365 nm (Yu, 2013). La distancia entre el pavimento y la lámpara UV fue de 10 cm. Los especímenes se expusieron a la luz durante 60 min; para garantizar una activación homogénea, se giraron 180° a los 30 min. La activación se llevó a cabo en una caja que impidió el paso de la luz externa (Du et al., 2016). Finalizada la activación se inició

la alimentación del agua microbiológica sintética a través de los pavimentos permeables. Los especímenes se alimentaron por la parte superior con un flujo de 500 mL/h de agua sintética microbiológica con una bomba peristáltica (Masterflex®, E.U.A.) y un motor de 12 V con hélices. Estas condiciones equivalen a la precipitación de 212 mm, que es comparable al máximo mensual reportado para el periodo 1981-2000 en la ciudad de Pachuca (SMN, 2017). El agua de salida de los especímenes se captó con un embudo de plástico y en matraces estériles. Posteriormente se hicieron tres diluciones de esta agua, de las que se sembraron 100 μ L en cajas de con agar de soya tripticaseína. Se incubaron por 24 horas y luego se hizo el conteo de colonias. Se siguió el mismo procedimiento para el agua sintética microbiológica de entrada y salida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los pavimentos permeables se obtuvieron de acuerdo a lo descrito anteriormente y se sometieron a análisis mineralógicos. En la Fig. 1 se observa que las NP de óxido de hierro sí se fijaron a la superficie de concreto, ya que en las micrografías se presentan pequeños cúmulos marrones que las ponen en evidencia. En la Fig. 2 se muestran los espectros XPS obtenidos para los pavimentos permeables photocatalíticos. En ellos se observa que la interacción del Fe_2O_3 con el concreto modifica la superficie estudiada. Paradójicamente, se detectó una mayor intensidad de la señal en el concreto con 3% de NP que en el de 5%.

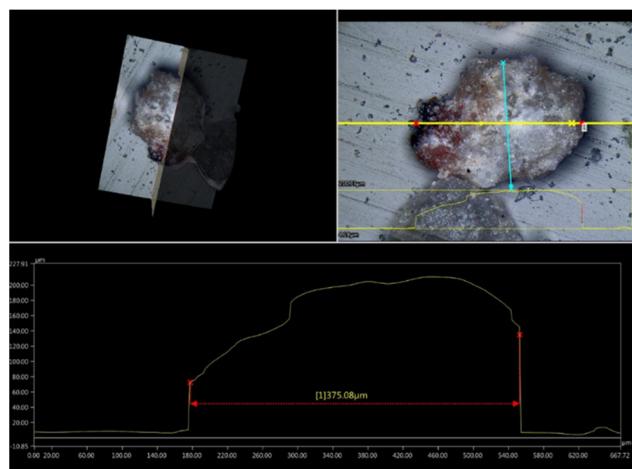


Figura 1. Perfil de profundidad a la altura máxima de la muestra de pavimento permeable con capa photocatalítica (3% de NP).

Una mayor cantidad de Fe_2O_3 en la superficie del pavimento modifica considerablemente la composición y las propiedades de la superficie (Watts y Wolstenholme, 2003).

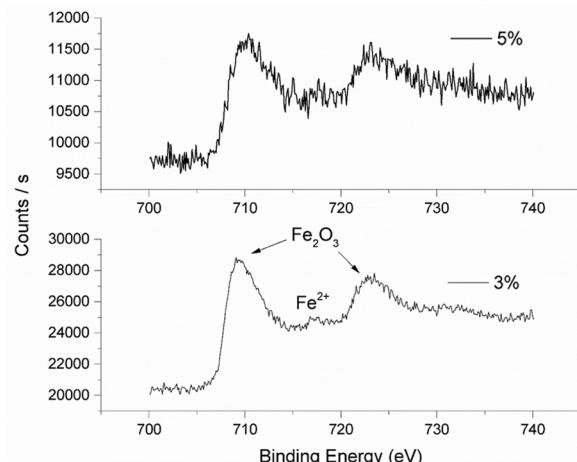


Figura 2. Espectros de XPS de los pavimentos permeables con capa photocatalítica.

Se evaluó la resistencia a la compresión de dos especímenes, que fue 78.28 kg/cm² en promedio. Este valor permite denominar al pavimento construido como permeable, ya que según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC, 2011) se consideran como aceptables valores comprendidos entre 35 y 280 kg/cm². En cuanto a la permeabilidad, se midió un valor promedio de 677.9 L/m²·min. De acuerdo al IMCYC, la velocidad de drenaje a través del pavimento permeable depende del tamaño de los agregados y de la densidad de la mezcla, y generalmente varía entre 81 a 730 L/min²·min. Por lo tanto, puede concluirse que la permeabilidad del pavimento permeable elaborado es muy buena, ya que se acerca al límite superior establecido por el IMCYC (2011). Se midió el potencial de remoción de contaminantes microbiológicos en los pavimentos permeables recubiertos con NP (3% y 5%) y en un espécimen testigo, desprovisto de recubrimiento de NP. La remoción de *E. coli* a través de los pavimentos permeables photocatalíticos fue completa, ya que no se detectó a este organismo en los efluentes. Esto equivale a la remoción de 3.5-3.7 Log UFC/mL (Fig. 3). Estos valores obtenidos son ligeramente parecidos a los reportados en estudios previos (Tota-Maharaj y Scholz, 2010), en los que se obtuvo una remoción entre 3.5 y 4.5 Log

UFC/mL de las concentraciones de *E. coli*, coliformes fecales y estreptococos fecales en AEU luego de su paso por pavimentos permeables acoplados a bombas de calor subterráneas. Las remociones que medimos y las reportadas en el citado estudio (Tota-Maharaj y Scholz, 2010) son mayores a las reportadas para otras tecnologías LID (Li et al., 2012).

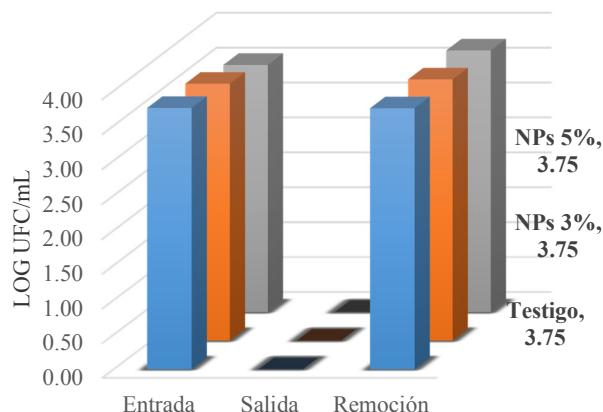


Figura 3. Remoción de *Escherichia coli* en los pavimentos permeables.

En estudios que han evaluado el transporte de microorganismos a través de medios porosos, se han mencionado varios factores que lo afectan, tales como la carga superficial, la hidrofobicidad, el tamaño, la movilidad y la forma de las células, así como su estado fisiológico y quizás su tipo de pared (i.e., si se trata de organismos Gram positivos o negativos) (Smets et al., 1999; Mitik-Dineva et al., 2009; Park et al., 2010). Dado que estos factores varían de especie, la eficiencia de remoción microbiana en un pavimento permeable dependerá del tipo de indicador que se utilice.

Las bacterias Gram positivas poseen una pared celular gruesa, con capas de peptidoglicano y ácido teitoico, las cuales proveen protección hasta cierto punto ya que obstruyen la penetración de radicales libres (Binas et al., 2017). Las bacterias Gram negativas como *E. coli* y *P. aeruginosa* no cuentan con esta protección; así, su pared más delgada sería más susceptible al ataque de los radicales libres producidos por las NP. La actividad fotocatalítica puede ocasionar alteraciones en la estructura celular, inactivación microbiana y posible destrucción (Binas et al., 2017). Sin embargo, en los experimentos que aquí se reportan no fue

possible distinguir el papel de las NP en la remoción de *E. coli* alcanzada por los pavimentos permeables, puesto que en los dos especímenes recubiertos con ellas fue similar a la que mostró el testigo.

La eliminación de *P. aeruginosa* se muestra en la Fig. 4, en la cual se observan diferencias entre las contaminaciones conseguidas por los distintos pavimentos permeables. El espécimen con un recubrimiento de 3% de NP permitió remover 4.496 Log UFC/mL, mientras que el testigo y el pavimento con 5% de NP eliminaron 4.66 y 2.368 Log UFC/mL, respectivamente (Fig. 4). Estos resultados podrían indicar que la mayor adherencia de las NP en el recubrimiento al 3%, puesta en evidencia por los resultados del análisis de XPS descritos anteriormente, se tradujo en una mayor eficacia de eliminación de *P. aeruginosa*.

Esta bacteria posee algunas de las características ya mencionadas que favorecen la adhesión bacteriana a medios sólidos, tales como ser móvil, Gram negativa, y con forma bacilar (Smets et al., 1999). A pesar de compartir estas características con *E. coli*, se removió en un menor grado. Esta menor adherencia de *P. aeruginosa* a los pavimentos permeables con respecto a la de *E. coli* puede atribuirse a que es menos electronegativa (Mitik-Dineva et al., 2009); si las superficies del pavimento permeable estuvieran cargadas positivamente (lo cual se desconoce), esto podría explicar la menor retención de *P. aeruginosa* en los pavimentos permeables.

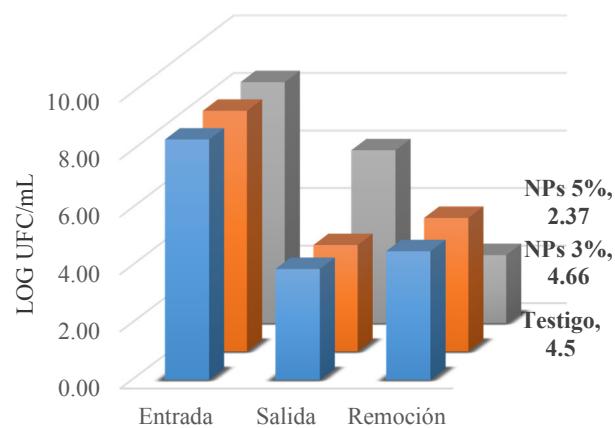
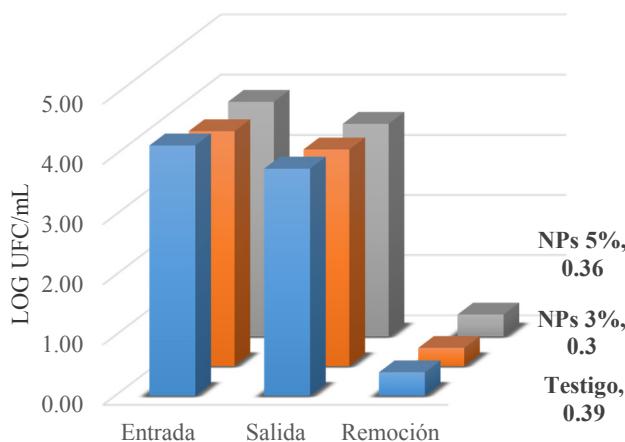


Figura 4. Remoción de *Pseudomonas aeruginosa* en los pavimentos permeables.

La eliminación de *Enterococcus faecalis* en los pavimentos permeables fue la menor entre las que se midieron para los organismos estudiados; su eficacia se muestra en la Fig. 5. *Enterococcus faecalis* posee rasgos que favorecen su transporte en medios porosos: no es móvil, es Gram positiva y tiene una forma esférica (Park et al., 2010). Así, es de esperar que los pavimentos permeables sean poco eficaces para remover este indicador. Las remociones conseguidas de *Enterococcus faecalis* en los pavimentos permeables estuvieron comprendidas entre 0.3-0.39 Log UFC/mL; estos valores son comparables a la eliminación de enterococos alcanzada en un biofiltro de arena (Peng et al., 2016). La escasa afinidad de *Enterococcus faecalis* por los medios porosos ha sido reportada por otros autores (Cheng et al., 2012). El tipo de pared celular de *Enterococcus faecalis* podría, como ya se mencionó, brindarle una protección adicional frente a un fotocatalizador. Sin embargo, el efecto de la capa de NP en la remoción de este indicador tampoco pudo



ponerse en evidencia, ya que el testigo prácticamente mostró la misma eficacia que el espécimen recubierto con 5% de Fe_2O_3 .

Figura 5. Remoción de *Enterococcus faecalis* en los pavimentos permeables fotocatalíticos.

CONCLUSIONES

Se construyeron especímenes de pavimentos permeables con una resistencia a la compresión y una permeabilidad hídrica adecuados según los estándares del IMCYC. Estos especímenes se recubrieron con 3 y 5% de NP de Fe_2O_3 que se integraron correctamente a la mezcla de

concreto, según lo reflejaron los análisis mineralógicos. Al evaluar la remoción de *E. coli*, *P. aeruginosa* y *E. faecalis* en aguas de escorrentía sintéticas, se encontró que los especímenes construidos resultaron ser efectivos en cuanto a la eliminación de estos indicadores, pero en grado diferente para cada uno de ellos. Así, la eficacia de la remoción de los pavimentos permeables siguió este orden: *E. coli* > *P. aeruginosa* > *E. faecalis*. No se encontraron reportes de efectividad de pavimentos permeables fotocatalíticos con respecto a remoción de contaminantes microbiológicos.

REFERENCIAS

- Ahiablame, L. M., Engel, B. A., Chaubey, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(7), 4253-4273.
- Baek, S. S., Choi, H. D., Jung, W. J., Lee, J. H., Lee, H., Yoon, S. K., Cho, H. K. (2015). Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: Experimental and modeling approach. *Water Research*, 86, 122-131.
- Bentz, P. D. (2008). Virtual pervious concrete: Microstructure, percolation, and permeability. *ACI Material Journal*, 105, 1-3.
- Binas V., Venieri, D., Kotzias, D., Kiriakidis, G. (2017). Modified TiO_2 based photocatalysts for improved air and health quality. *Journal of Materomics*, 3, 3-16.
- Chen, G., Walker, S. L. (2012). Fecal indicator bacteria transport and deposition in saturated and unsaturated porous media. *Environmental Science and Technology*, 46(16), 8782-8790.
- Du, F., Zuo, X., Yang, Q., Yang, B., Li, G., Ding, Z., Zhu, K. (2016). Facile assembly of TiO_2 nanospheres/ SnO_2 quantum dots composites with excellent photocatalyst activity for the degradation of methyl orange. *Ceramics International*, 42(11), 12778-12782.
- Hasselbach, M. L., Valavala, S., Montes, F. (2006). Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems. *Journal of Environmental Management*, 81, 42-49.
- Hassan, M. M., Dylla, H., Mohammad, L. N., Rupnow, T. (2012). Methods for the application of titanium dioxide coatings to concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 5(1), 12-20.
- IMCYC (2011). Hacia una construcción sustentable. Construcción y Tecnología en concreto. Recuperado de

- <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- INVE 412-07. Ensayo de fabricación, curado acelerado y resistencia a la compresión de especímenes de concreto.
- Li, Y. L., Deletic, A., Alcazar, L., Bratieres, K., Fletcher, T. D., McCarthy, D. T. (2012). Removal of *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* and F-RNA coliphages by stormwater biofilters. *Ecological Engineering*, 49, 137-145.
- Martin-Mikle, J. C., de Berus, K., Julian, P. J., Mayer, M. P. (2015). Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. *Landscape and Urban Planning*, 140, 29-41.
- Mitik-Dineva, N., Wang, J., Truong, V. K., Stoddart, P., Malherbe, F., Crawford, R. J., Ivanova, E. P. (2009). *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* attachment patterns on glass surfaces with nanoscale roughness. *Current Microbiology*, 58(3), 268-273.
- Park, S. J., Kim, S. B., Kim, K. W. (2010). Analysis of bacterial cell properties and transport in porous media. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 45(6), 682-691.
- Peng, J., Cao, Y., Rippy, M. A., Afroz, A. R. M., Grant, S. B. (2016). Indicator and Pathogen Removal by Low Impact Development Best Management Practices. *Water*, 8(12), 600.
- Smets, B. F., Grasso, D., Engwall, M. A., Machinist, B. J. (1999). Surface physicochemical properties of *Pseudomonas fluorescens* and impact on adhesion and transport through porous media. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 14(1), 121-139.
- SMN (2017). Normales Climatológicas 1981-2000, Estación Pachuca, Hgo. Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua, México.
- Tota-Maharaj, K., Scholz, M. (2010). Efficiency of permeable pavement systems for the removal of urban runoff pollutants under varying environmental conditions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29, 358-369.
- Vázquez-Rodríguez, G. A., Iturbe, U. (2015). Ciudades Permeables. *¿Cómo ves?*, 183, 16-19.
- Watts, F. J., Wolstenholme, J. (2003). *An introduction to surface analysis by XPS and AES*. Wiley, Londres.
- Yu, J. C. (2003). Deactivation and regeneration of environmentally exposed titanium dioxide (TiO_2) based products. (Testing Report). Hong Kong, Environmental Protection Department, HKSAR.
- Zhu, Y., Eaton, J. W., Li, C. (2012). Titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles preferentially induce cell death in transformed cells in a Bak/Bax-independent fashion. *PloS One*, 7(11), e50607.

Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-Columna con Biomasa Aerobia

González-Carmona Aislenn Selene¹*, Baños-Rodríguez Ubaldo¹

¹Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio de Fisiología Microbiana y Fermentaciones Industriales, Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Ciudad Sahagún km 20, Ex Hacienda de Santa Bárbara, Zempoala, Hgo., México CP: 43830.

Recibido: 04 de septiembre de 2017; Aceptado: 17 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

El agua es el componente de necesidad mundial, básica y primordial, por ello es importante el saneamiento de las aguas residuales (AR). Una opción fácil, económica y rápida es el uso del SBR-columna con biomasa aerobia (BA). En este trabajo se propone el uso de este sistema, ya que presenta grandes ventajas debido a su capacidad compacta y elevadas tasas de remoción de materia orgánica (MO), realizando pruebas de biodegradabilidad, mejorando la operación del sistema microbiano con el uso del programa de cómputo MATLAB, efectuando simulaciones con el modelo matemático de *Haldane Andreu*, el cual fue resuelto por los métodos numéricos *Runge Kutta ode45* y *Hill Climbing*, obteniendo parámetros cinéticos como: q_s , k_i , k_s , μ_{max} , $Y_{x/s}$. y de esta manera se mejoró la eficiencia del funcionamiento del sistema, reflejado en el porcentaje de remoción de MO, teniendo un 100% de remoción en un tiempo menor a 5 horas, manteniendo un intervalo de sustrato inicial de 147.5-310 mgO₂/L y una biomasa inicial de 115-166 mgProt/L.

Palabras clave: Agua Residual, Biomasa Aerobia, SBR-Columna.

Abstract (CBS)

Water is the component of global need, basic and overriding, so it's important the sanitation of wastewater. An easy, economical and fast option is the use of the SBR-column with aerobic biomass (AB). In this work the use of system is proposed since it presents great advantages due to its compact capacity and elevated intervals of removal of organic matter (OM), performing biodegradability tests, improving the operation of the microbial system with the use of the MATLAB computer program, effecting simulations with the mathematical modelo of *Haldane Andreu*, which was solved by the numerical methods *Runge Kutta ode45* and *Hill Climbing*, getting kinetic parameters such as: q_s , k_i , k_s , μ_{max} , $Y_{x/s}$. and in this way the efficiency of the system operation was improved, reflected in the percentage of the removal of OM, having a 100% removal in a time less than 5 hours, maintaining an initial substrate interval of 147.5-310 mgO₂/L and an initial biomass of 115-166 mgProt/L.

Keywords: Wastewater, Aerobic Biomass, SBR-Column.

INTRODUCCIÓN

El agua es el componente de necesidad mundial, básica y primordial, por ello es importante el saneamiento de las aguas residuales (AR). Estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas como son: el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la urbanización, teniendo como resultado grandes cantidades de AR sin tratamiento alguno (Bretti, 2002).

La tecnología con biomasa aerobia (BA) tiene la capacidad de soportar grandes cargas orgánicas usada en reactores discontinuos de

alimentación secuenciada (SBR) según Beun et al., en 1999 dicho sistema consiste en una columna de burbujeo, en donde el AR es tratada en aerobiosis en un ciclo de pocas horas, llevándose a cabo los procesos en el mismo reactor, removiendo gran cantidad de materia orgánica (MO) de AR municipal e industrial (Calvario et al., 2005).

El diseño de los sistemas aerobios de tratamiento de AR como el SBR se realiza en base a parámetros bio-cinéticos que deben determinarse experimentalmente utilizando el efluente a tratar. Pero la complejidad del proceso para el tratamiento de AR ha

incrementado con el transcurso del tiempo, y en consecuencia los modelos matemáticos que los representan han tenido un mayor nivel de desarrollo para controlar y predecir el comportamiento de las plantas tratadoras de agua, sin embargo, se ha mejorado la operación de los sistemas gracias a la simulación de los procesos, induciendo el diseño de programas de computación como es el uso de MATLAB el cual es capaz de efectuar la simulación propiamente dicha y proporcionar una medida de la eficiencia del funcionamiento en los sistemas microbianos.

Todo esto a partir de los datos medidos y los resultados calculados (Reichert, 1998).

Una gran variedad de modelos cinéticos de inhibición han sido utilizados para describir el crecimiento microbiano, tales como las ecuaciones de Yano y Koga, Aiba, Luong, Sokol, Edward y Haldane. Sin embargo, la ecuación de *Haldane Andreu* (ecuación 1) ha sido la más utilizada para describir este proceso.

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S + (S^2/K_i)} \quad (1)$$

Donde:

μ_{\max} = Velocidad específica máxima de crecimiento de biomasa

S = Concentración de sustrato

K_s = Constante de afinidad por el sustrato

K_i = Constante de inhibición debida al sustrato

La ecuación de *Haldane* está basada en la velocidad específica de crecimiento (μ), pero también se puede relacionar con la velocidad específica de consumo de sustrato. Esto significa que los microorganismos disminuyen su velocidad de crecimiento a concentraciones elevadas de sustrato, pero si éstas bajan, pueden consumir el sustrato a una velocidad máxima (Baños, 2010).

La finalidad de este trabajo es realizar una prueba de biodegradabilidad del AR municipal de Pachuca utilizando un SBR-columna con BA; desarrollando simulaciones con el modelo cinético propuesto por *Haldane* en el software de MATLAB, para lograr una remoción significativa de MO cumpliendo a su vez con la normatividad vigente.

OBJETIVO

Realizar una prueba de biodegradabilidad de una AR-municipal utilizando un SBR en columna con biomasa aerobia para lograr una remoción significativa de MO cumpliendo con la normatividad vigente.

JUSTIFICACIÓN

El agua es el componente básica mundialmente, por ello es importante el saneamiento de las AR generadas, estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas; según CONAGUA en 2015 menciona que anualmente un mexicano en promedio genera más de 136, 800 litros de AR municipal con grandes cargas de MO y solo el 50% de esta es tratada, causando efectos nocivos para el medio ambiente. Es por ello la necesidad de crear innovadoras y efectivas tecnologías para la biodegradación de MO. En el presente trabajo se propone el uso de un SBR-columna con BA, el cual presenta grandes ventajas debido a su capacidad compacta y elevadas tasas de remoción de MO realizando simulaciones: (1) MATLAB aplicando el modelo matemático *Haldane Andreu*, con estas simulaciones será posible obtener parámetros cinéticos con precisión (k_s , k_i , $Y_{x/s}$ y μ_{\max}) los cuales definen el fenómeno de biodegradación de MO a tratar, obteniendo el mayor porcentaje de remoción de MO.

METODOLOGÍA

Se instaló y operó el SBR-columna, agregando 1.2 L de AR-municipal ($S_0 = 147.5 \text{ mgO}_2/\text{L}$) y 0.3 L de inoculo ($X_0 = 115.048 \text{ mgProt/L}$) para la cinética I y para la cinética II $S_0 = 220 \text{ mgO}_2/\text{L}$ y biomasa inicial de $X_0 = 151.055 \text{ mgProt/L}$ teniendo un volumen total de operación de 1.5 L los cuales fueron manejados en ciclos de 6 y 12 horas con aireación constante en el sistema, posterior se dio una sedimentación con duración de 0.5 horas y una extracción de 0.033 horas, durante el proceso se realizaron dos cinéticas microbianas en base a los análisis DQO para la cuantificación de sustrato según la NMX-AA-SCFI-O30-2001 y se monitoreó también el crecimiento de biomasa en términos de proteínas [$X = \text{mgProt/L}$] por el método de Biuret (Herbert et al., 1971);

Una vez terminadas las cinéticas y teniendo los resultados de la biomasa y sustrato correspondientes se analizaron con simulaciones en el programa de computo MATLAB con el modelo matemático Haldane (ecuación 1) en base a la solución de Runge Kutta ode45 y HILL Climbing, determinando parámetros cinéticos tales como: q_s , k_i , k_s , μ_{max} , $Y_{X/S}$ que posteriormente fueron analizados para evaluar la efectividad del saneamiento del AR-municipal en el SBR-columna.

RESULTADOS

En las tablas 1 y 2 se muestran los datos de las dos cinéticas microbianas realizadas en este trabajo de investigación.

Tabla 1. Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética I Fuente:
 Resultados experimentales obtenidos en el proyecto.

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	147.500	115.048
0.250	142.500	114.499
0.500	140.000	114.488
0.750	135.000	115.426
1.000	132.500	115.807
1.250	125.000	117.218
1.500	120.000	118.053
1.750	117.500	118.279
2.000	110.000	119.250
2.250	102.500	119.777
2.500	97.500	120.913
2.917	80.000	123.867
3.167	62.500	126.751
3.667	42.500	130.251
4.167	27.500	136.321
4.667	0.000	137.148

Tabla 2. Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética II Fuente:
 Resultados experimentales obtenidos en el proyecto.

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	220.000	151.055
0.250	200.000	167.413
0.500	197.500	175.346
0.750	185.000	181.898
1.000	175.000	204.115
1.250	170.000	222.090
1.500	162.500	228.238
1.750	120.000	316.995
2.000	100.000	329.662
2.250	52.500	376.548
2.500	47.500	391.903
2.917	27.500	421.872
3.167	5.000	448.020
3.667	0.000	471.913

Una vez obtenidos los resultados del consumo de sustrato ($S = DQO$) y crecimiento de biomasa ($X = mgProt/L$) de ambas cinéticas, estos se graficaron para desarrollar simulaciones ajustadas a datos experimentales con el programa editado en el software MATLAB considerando el modelo cinético de Haldane (ver Fig. 1 y 2, donde las curvas con líneas continuas representan las simulaciones de mejor ajuste, al considerar 100 iteraciones en el programa Hill Climbing en cada simulación); y así se determinaron parámetros cinéticos que definen la biodegradabilidad de $[S]$ y crecimiento de $[X]$ con el Biorreactor y sus condiciones operativas propuestas.

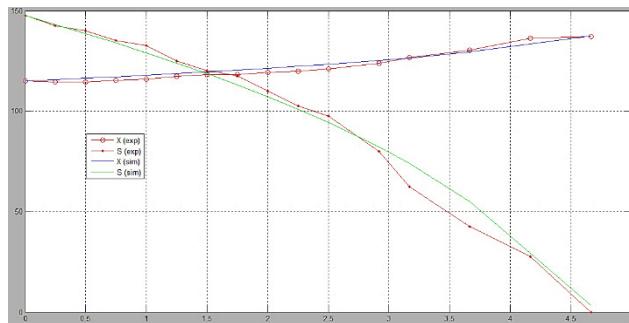


Figura 1. Simulación con MATLAB de la cinética I representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [S₀ = 147.5 ppm, X₀ = 115.048 mgProt/L] Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015.

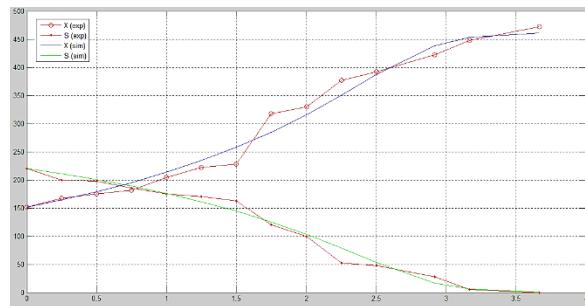


Figura 2. Simulación con MATLAB de la cinética II representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [S₀ = 220 ppm, X₀ = 151.055 mgProt/L] Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015.

Adicionalmente se realizaron regresiones lineales de los datos obtenidos del consumo de sustrato para las cinéticas I y II (ver Figs. 3 y 4) para determinar la velocidad de consumo de sustrato $q_s = -30.85 \text{ mg O}_2/\text{L}\cdot\text{h}$ con una

correlación del 95.52% para la cinética I y para la cinética II una $q_s = -68.023$ con una correlación del 95.6%.

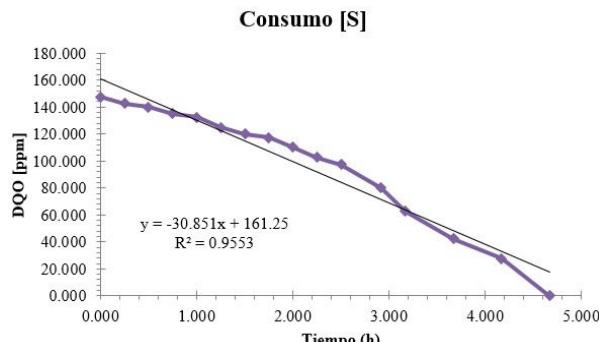


Gráfico 1. Regresión lineal para hallar q_s de la cinética I
 Fuente: Gráfico obtenido en Excel versión 2016.

En la tabla 3 se resumen los parámetros cinéticos a partir de las simulaciones realizadas con el programa *Hill Climbing* en el software de MATLAB de las cinéticas realizadas (Baños, 2010).

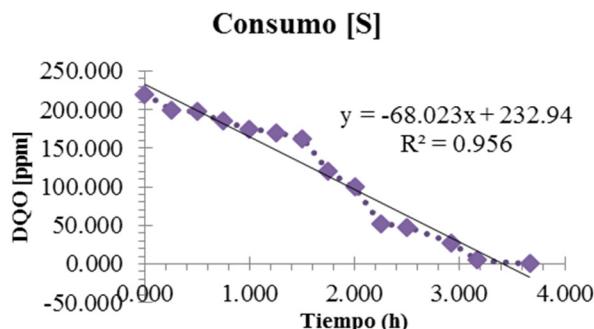


Gráfico 2. Regresión lineal para hallar q_s de la cinética II
 Fuente: Gráfico obtenido en Excel versión 2016.

Como se puede apreciar, existe discrepancia en los valores de los parámetros cinéticos obtenidos en ambas cinéticas, esto puede asociarse en primer momento por la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en ambas cinéticas y en la estabilidad operativa del SBR-columna, sin embargo se aprecia una velocidad media específica de crecimiento de biomasa de $\mu = 0.35 \text{ h}^{-1}$, una afinidad media por el sustrato de $k_s = 66 \text{ mg O}_2/\text{L}$, una inhibición media por el sustrato de $K_i = 54 \text{ mg O}_2/\text{L}$, un rendimiento medio de biomasa/sustrato de $Y_{X/S} = 1.125 \text{ mgProt/mg O}_2$, y una velocidad media de consumo de sustrato de $q_s = 49.44 \text{ mg O}_2/\text{L h}$.

Tabla 2. Parámetros cinéticos obtenidos para las cinéticas I y II Fuente: Datos obtenidos de la solución de la ecuación 1 con los valores correspondientes para cada cinética.

Parámetro cinético	Valor obtenido		Unidades
	Cinética I	Cinética II	
μ	0.50	0.20	h^{-1}
$Y_{X/S}$	0.22	2.03	$\text{mgProt}/\text{mg O}_2$
K_s	50.00	82.00	$\text{mg O}_2/\text{L}$
K_i	8.00	100.00	$\text{mg O}_2/\text{L}$
q_s	-30.85	-68.023	$\text{mg O}_2/\text{L}\cdot\text{h}$

Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posterior hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

CONCLUSIONES

Con las cinéticas desarrolladas en el SBR-columna fue posible obtener los valores experimentales de consumo de sustrato y crecimiento de biomasa, para posteriormente realizar las simulaciones matemáticas usando el modelo de inhibición por el sustrato de Haldane resuelto utilizando los métodos numéricos Runge Kutta *ode45* y el método de optimización numérica *Hill Climbing* en el software Matlab; obteniendo los parámetros cinéticos: velocidad media específica de crecimiento de biomasa de $\mu = 0.35 \text{ h}^{-1}$, constante de afinidad media por el sustrato de $k_s = 66 \text{ mg O}_2/\text{L}$, constante de inhibición media por el sustrato de $K_i = 54 \text{ mg O}_2/\text{L}$, rendimiento medio de biomasa/sustrato de $Y_{X/S} = 1.125 \text{ mgProt/mg O}_2$, y por regresión lineal la velocidad media de consumo de sustrato de $q_s = 49.44 \text{ mg O}_2/\text{L h}$, las diferencias entre los valores obtenidos de los parámetros respecto a cada cinética se atribuye a: la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en cada cinética y el alcance en la estabilidad operativa del SBR-columna con tiempos de retención hidráulica de 3.6 a 5h, logrando remociones de materia orgánica del 100% en todas las cinéticas, manteniendo el sustrato inicial en un intervalo de 147.50 a 310 mgO₂/L y biomasa inicial en un intervalo de 115 a 166 mgProt/L.

El cálculo de los parámetros cinéticos considerando la biomasa como proteínas mostró que éste es un parámetro más adecuado para el análisis del crecimiento de la biomasa [X] y que proporciona menos error que la determinación de SST. Por otra parte, también

se observó que en la primera serie de experimentos (primera cinética) los microorganismos degradaban la materia orgánica con menores velocidades específicas de crecimiento, atribuible a su etapa de aclimatación por el sustrato (AR-municipal); siendo evidente el incremento posterior en estas velocidades de crecimiento de biomasa en las siguientes cinéticas, indicando por lo tanto diferencias en la composición de las poblaciones microbianas presentes en el SBR-columna.

Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posteriormente hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

REFERENCIAS

- Baños, U (2010). *Aplicación de modelos cinéticos al tratamiento biológico de efluentes fenólicos en reactores discontinuos de alimentación secuenciada*. Universidad Autónoma de Pachuca. Pachuca de Soto Hidalgo.
- Bretti J. F., (2002). *Sistema de Tratamiento SBR*. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina. Buenos Aires.
- Beun J; Hendriks A; Van Loosdrecht M; Morgenroth E; Wilderer P y HEIJNEN J. (1999). Aerobic granulation in a sequencing batch reactor, Water Res. 33 (10): 2283-2290
- Calvario, C. (2006). *Biodegradación de fenol en un reactor aerobio de granulación*. Centro de Investigación en Tecnologías de información y Sistemas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto Hidalgo.
- CONAGUA. (2015). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Recuperado de:http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documents/carrera_agua_2015.pdf
Fecha de consulta: 24/05/2016
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Métodos de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- Reichert P. (1998). Aquasim 2.0. User Manual. Computer Program for the Identification and Simulation of Aquatic Systems; 2-10, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Dübendorf, Suiza.

Xilanases de Microorganismos y su Aplicación en la Industria Alimentaria

Bonnet-Kassandra², Mendoza-Bethsua², Hernández-Carmin², Álvarez-Jorge¹, Hernández-Edna María^{2*}

¹Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala, Hgo., México.

² Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. ITESA, Apan, Hgo., México.

Recibido: 04 de septiembre de 2017; Aceptado: 17 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

El xilano es el componente más abundante y principal de la hemicelulosa. Es un polímero lineal de unidades de xilopiranósilo enlaces glicosídicos unidos por β -D(1-4). Las xilanases predominan en las paredes celulares de las plantas y son producidas por diferentes tipos de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, y algunas levaduras. Recientemente hay una demanda creciente de costo eficaz de la enzima xilanolítica microbiana que beneficia a las aplicaciones y se producen comercialmente. Las xilanases tienen una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo: en la pulpa de papel, alimentos, piensos, productos textiles y productos farmacéuticos. Esta revisión describe algunas de las propiedades de las xilanases, así como su aplicación en la industria alimentaria.

Palabras clave: Xilanases, Aplicación, Alimentos.

Abstract (CBS)

Xylan is the most abundant and principal component of hemicellulose. It is a linear polymer of xylopyranyl units glycosidic bonds bound by β -D (1-4). Xylanases predominate in the cell walls of plants and are produced by different types of microorganisms such as bacteria, fungi, protozoa, and some yeasts. Recently there is a growing cost-effective demand for the microbial xylanolytic enzyme that benefits the applications and are produced in the main. Xylanases have a wide range of applications, for example: paper pulp, food, feed, textiles and pharmaceuticals. This review describes some of the properties of xylanases, as well as their application in the food industry.

Key words: Xylanase, Application, Food.

INTRODUCCIÓN

Las enormes variedades de reacciones bioquímicas que componen la vida son casi todas medidas por catalizadores biológicos, es decir enzimas, éstas tienen alto grado de especificidad para sus sustratos y funcionan en soluciones acuosas bajo condiciones definidas. La diversidad de enzimas microbianas es grande, presentan un amplio espectro de características que los hacen interesantes para aplicaciones muy específicas. Un número de enzimas microbianas como proteasa, amilasa, xilanasa, celulasa, tanasa, lipase, etc., están siendo utilizadas en el campo de la alimentación, la agricultura, productos farmacéuticos, cosméticos y otras industrias biotecnológicas (Mandal, 2015).

A parte se du uso en la pulpa e industria del papel, las xilanases también se utilizan como aditivos de alimentos para aves de corral

(Bendford y Classen, 1992), en la harina de trigo para mejorar la manipulación de la masa y la calidad de los productos horneados (Maat et al., 1993), para la extracción de café, aceites vegetales y almidón (Wong y Saddler, 1992), en la mejora de las propiedades nutrionales de ensilaje agrícola y de alimentación de grano (Kahud y Singh, 1993) y en combinación con pectinasa y la celulasa para la clarificación de zumos de frutas (Biely, 1985) y desgomado de fuentes de fibra vegetal, tales como, lino, cáñamo, yute y ramio (Kapoor et al., 2001; Puchart et al., 1999; Sharma, 1987).

En esta revisión se describen algunas de las propiedades de las xilanases, así como su aplicación en la industria alimentaria.

XILANO

La pared celular de las plantas está considerada como la Fuente removable de polisacáridos más

abundante en la naturaleza. Su composición se basa en tres constituyentes principales: (i) celulosa, que es un polímero insoluble formado por residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos β -1,4; (ii) lignina, definido como un complejo polifenólico asociado a las hemicelulosas y que forma matrices que rodean a las microfibrillas de celulosa; (iii) hemicelulosa, aquí se agrupan los heteropolisacáridos que incluyen a los polímeros de xilosa (genéticamente llamados xilanos), manosa, arabinosa, entre otros. Si se toma en cuenta la composición global de la biomasa de las plantas, se ha considerado que está formada por 40% de celulosa, 33% de hemicelulosa y 23% de lignina (Loera-Corral y Villaseñor, 2006).

Los xilanos son hetero-polímeros altamente ramificados. La columna vertebral de xilano se compone de enlaces β -1 y 4 residuos de D-xilopiranosilo. El grado de polimerización de los residuos de xilopiranosilo en xilano de abedul de madera de 101 a 122 unidades (Jacobs y Dahlman 2001). Los sustituyentes comunes que se encuentran para ser unidos con la columna vertebral son: acetilo, arabinosilo y residuos de glucoronosil (Bastawde, 1992). La frecuencia y la composición de las ramas dependen de la fuente de xilano (Aspinall, 1980). En xilano de madera, las ramas sustituyentes están vinculadas con la cadena principal de β -(1, 2) enlaces glucosídicos con 4- grupos ácido metilglucurónico. Además, los grupos O- acetilo en algún momento reemplazan los grupos OH en la posición C-2 y C-3. La presencia de los grupos acetil son los responsables de la solubilidad parcial del xilano en agua.

Los xilanos de diferentes fuentes, tales como hierbas, cereales, de madera blanda y madera dura difieren en composición. xilano de madera de abedul contiene 89,3 % de xilosa , 1 % arabinose, 1,4 % de glucosa y ácido anhidrourónico 8,3 % (Kormelink et al., 1991). arabinoxilano de trigo contiene 65,8 % de xilosa , 33,5 % de arabinosa , 0,1 % de manosa , 0,1 % de galactosa y 0,3 % de glucosa (Voragen et al., 1992), hemicelulosa de la fibra de maíz contiene 48 a 54 % de xilosa , 33 a 35 % de arabinosa, 5 a 11 % de galactosa y ácido glucurónico 3-6 % (Doner y Hicks, 1997; Hespell, 1998). Los xilanos de diferentes fuentes, tales como hierbas, cereales, de madera blanda y madera dura difieren en composición, por ejemplo el xilano de madera de abedul contiene 89,3 % de xilosa, 1 % arabinose, 1,4 % de glucosa y ácido

anhidrourónico 8,3 % (Kormelink et al., 1991), arabinoxilano de trigo contiene 65,8 % de xilosa, 33,5 % de arabinosa, 0,1 % de manosa, 0,1 % de galactosa y 0,3 % de glucosa (Voragen et al., 1992), la hemicelulosa de la fibra de maíz contiene 48 a 54 % de xilosa, 33 a 35 % de arabinosa, 5 a 11 % de galactosa y ácido glucurónico 3-6 % (Doner y Hicks, 1997; Hespell, 1998).

ENZIMAS DEGRADADORAS DE XILANO

La capacidad de degradar xilano está ampliamente distribuida entre los microorganismos saprófitos, tanto bacterias como hongos, así como entre la microbiota del rumen. Estos microorganismos poseen complejos sistemas enzimáticos para llevar a cabo la degradación del xilano (Beg et al., 2001). La necesidad de un conjunto amplio de diferentes enzimas, cada una con un papel definido y determinado, para la completa degradación del xilano, es debida a la heterogeneidad y elevada complejidad estructural de éste (Joturu, 2011).

Las enzimas degradadoras del xilano se clasifican en dos grupos principales: enzimas implicadas en la despolimerización del esqueleto principal de xilosas; Endoxilanásas (β -1,4-D-xilanohidrolasas) y β -xilosidasas (β -1-4-D-xilan-xilohidrolasas), enzimas encargadas de la eliminación de las cadenas laterales del xilano, llamadas también accesorias o desramificantes; α -L-arabinofuranosidasas, α -D-glucuronidasas, acetilxilano esterasas y ferúlico y *p*-cumárico esterasas (hidroxicianámico esterasas) (Verna y Satyanarayana, 2012).

Entre estas enzimas frecuentemente existen relaciones de sinergismo, de modo que, generalmente, las enzimas desramificantes permiten una mayor accesibilidad de las xilanásas al esqueleto principal de xilosas, y a su vez estas enzimas accesorias liberan sustituyentes laterales más fácilmente a partir de fragmentos de xilano y no a partir del xilano polimérico. De esta manera, se ha visto que existe frecuentemente sinergismo entre xilanásas y enzimas desramificantes, entre xilanásas y β -xilosidasas, y entre diferentes xilanásas (Coughlan et al., 1993; De Vries et al., 2000).

XILANASAS

Características generales

Las endoxilananasas o xilananasas (endo- β -1,4-xilananasas; EC 3.2.1.8) son las enzimas que actúan sobre la cadena principal del xilano hidrolizando los enlaces internos β (1-4) entre moléculas de xilosa, dando lugar a una mezcla de xiloooligosacáridos de diferentes tamaños, además de xilano pueden hidrolizar xiloooligómeros de diferente grado de polimerización (siendo más activas cuando mayor es el grado de depolimerización) pero no hidrolizan las xilobiosa, lo que permite distinguirlas claramente de las β -xilosidasas. Las xilananasas son pues las principales enzimas implicadas en la degradación de xilano (Biely, 1997).

En los microbios xilanolíticos hay una gran multiplicidad de xilananasas (varios genes distintos que además cada uno de ellos puede dar lugar a diferentes xilananasas en función del procesamiento post-transcripcional y post-traduccional), que difieren en su especificidad respecto al xilano (Verna y Satyanarayana, 2012). Esta gran diversidad de xilananasas está relacionada con el hecho de que el xilano es un polímero muy complejo y se requieren xilananasas distintas para degradar las diferentes regiones del xilano y los diferentes xilanos. Así, muchas xilananasas sólo pueden actuar sobre regiones del xilano no sustituidas, mientras que otras requieren un determinado tipo de ramificación adyacente al sitio de corte (Loera-Corral, 2002). Dado que el xilano es un polímero de elevado grado de polimerización, no puede penetrar dentro de los microorganismos para ser degradado, de manera que las xilananasas han de ser secretadas al medio extracelular, normalmente mediante sistemas de secreción de tipo II (sec dependientes, es decir, que requieren del sistema de secreción Sec, el Sec pathway) (Tjalsma et al., 2004). Sin embargo, en algunas bacterias del rumen y en *Cellvibrio mixtus* se han descrito xilananasas que no son secretadas al espacio extracelular, quedando localizadas en el espacio periplásmico (Fontes et al., 2000). Probablemente, la función de estas xilananasas periplásmicas no es la degradación del xilano, sino la de xiloooligosacáridos de pequeño tamaño que puedan atravesar la membrana externa estando protegidas al mismo tiempo de la acción de las proteasas extracelulares.

En algunos microorganismos, principalmente anaeróbicos, las xilananasas pueden encontrarse también formando parte de unas estructuras extracelulares denominadas celulosomas. Los celulosomas son complejos multienzimáticos anclados en la superficie celular que permiten a los microorganismos que los poseen la unión a sustratos lignocelulosicos y el aumento de la eficiencia degradadora de la celulosa y las hemicelulosas (Bayer et al., 2004). Los celulosomas contienen una proteína no catalítica de andamiaje (*scaffolding protein*) que por un lado permite el anclaje a la superficie celular a través de una proteína de anclaje (*anchoring protein*), por otro contiene dominios cohesina (*cohesin modules*) para unir las diferentes enzimas hidrolíticas que forman el celulosoma, y además puede contener módulos de unión a carbohidratos (CBM). A parte de esta proteína de andamiaje, los celulosomas presentan una gran cantidad de enzimas hidrolíticas que se unen mediante dominio de ensamblaje o acoplamiento (*docking or dockerin domains*) a los dominios cohesina previamente mencionados (Bayer et al., 2004). La mayoría de las enzimas que forman parte de los celulosomas son celulasas, pero también se encuentran xilananasas (Pason et al., 2006), otras glicosil hidrolasas, y en algunos casos incluso esterasas (Shoham et al., 1999). Todas las enzimas actúan de forma sinérgica para degradar el sustrato lignocelulosicos, el cual resulta fácilmente accesible gracias a las uniones que establecen con él los CBM presentes tanto en la proteína de andamiaje como en algunas de las subunidades enzimáticas. El término xilanosoma ha sido propuesto para designar aquellas agrupaciones enzimáticas extracelulares similares a celulosomas, en que las enzimas mayoritarias son xilananasas en lugar de celulosas (Beg et al., 2001; Jiang et al., 2006).

En cuanto a la regulación de la expresión de xilananasas, generalmente no son enzimas constitutivas, induciéndose su expresión al crecer el microorganismo en medios que contienen xilano o xilobiosa. La xilosa es el principal inductor de la expresión de los genes de xilananasas (Byeli, 1985), de manera que para que un microorganismo pueda aprovechar el xilano del medio, son necesarios pequeños niveles de expresión basal de xilananasas que puedan degradar en cierta medida el xilano, liberándose finalmente las cantidades de xilosa suficientes para inducir la expresión de las

xilananas (Kulkarni et al., 1999; Stulke y Hillen, 2000).

Además, en la mayoría de microorganismos la expresión de xilananas está sometida a represión por catabolito, a través de la acción del represor CreA (Cho y Choi, 1995; De Vries y Visser, 2001), equivalente a CcpA en especies del género *Bacillus* (Stülke y Hillen, 2000). Esto permite la utilización de fuentes de carbono más fácilmente asimilables (como glucosa y xilosa) cuando éstas se encuentran disponibles en el medio.

De esta manera, la xilosa juega un doble papel como regulador de la expresión de xilananas, en función de su concentración: a bajas concentraciones de xilosa, ésta actúa como inductor de la expresión de xilananas, ya que sólo ejerce una represión débil a través del sistema CreA; pero a altas concentraciones, la xilosa actúa reprimiendo la expresión de genes xilanolíticos (a través del sistema CreA) (De Vries et al., 1999).

No obstante, existen excepciones, como por ejemplo una de las xilananas de *Bacillus subtilis* (Lindner et al., 1994) que presenta expresión constitutiva durante el crecimiento exponencial.

CLASIFICACIÓN DE LAS XILANASAS

Como ya se mencionó, dada la complejidad y heterogeneidad del xílano, existe una gran variedad de xilananas que se diferencian en cuanto a su especificidad de sustrato, su secuencia y su estructura. En general, las xilananas, tanto de bacterias como de hongos, son mayoritariamente monoméricas, y ampliamente variables en cuanto a su peso molecular y punto isoeléctrico (pl). En base al peso molecular y el punto isoeléctrico, Wong et al., (1988) dividieron las xilananas en dos grupos: Un primer grupo de xilananas de bajo peso molecular (menos de 30 kDa) y pl alcalino. Un segundo grupo de xilananas de mayor peso molecular (más de 30kDa) y pl ácido. Progresivamente, el número de xilananas caracterizadas fue en aumento, de manera que empezaron a describirse enzimas con características intermedias, y que por tanto no encajaban en ninguno de estos dos grupos. Gilkes et al., (1991) realizaron un estudio de las secuencias de xilananas y celulasas. Atendiendo principalmente a homologías de secuencia, estas enzimas se clasificaron en 9 familias, quedando las xilananas distribuidas en las

familias F y G: La familia F incluye las xilananas del grupo de mayor peso molecular y bajo pl definido por Wong et al., (1988), además de otras xilananas y otras enzimas como exocelulosas y endo- β -1,3-xilananas. La familia G es una familia formada exclusivamente por xilananas, entre las que se incluyen las xilananas de bajo peso molecular y al pl (Wong et al., 1988), además de otras xilananas. Posteriormente, las glicosil hidrolasas se clasificaron en 35 familias en base a comparación de secuencias (Henrissat, 1991) y al análisis de las regiones de hidrofobicidad de las mismas (Henrisat y Bairoch, 1993, 1996). Estudios posteriores han corroborado que, tal como sugerían éstos y otros autores en estudios previos (Chothia y Lesk, 1986), existe una correlación entre la secuencia primaria de una proteína y su conformación tridimensional.

Actualmente, existen más de 100 familias de glicosil hidrolasas (Carbohydrate Active enzymes database, <http://www.cazy.org/>; (Coutinho y Henrissat, 1999), las cuales se encuentran agrupadas en diferentes clanes o superfamilias. En base a esta clasificación, las xilananas quedan distribuidas en las familias 10 y 11, que se corresponden con las familias F y G de Gilkes et al., (1991). La diferencia entre estas 2 familias de xilananas se encuentra principalmente a nivel de secuencia y estructura tridimensional, no existiendo diferencias importantes a nivel de sus características catalíticas. No obstante, las diferencias estructurales influyen de manera determinante en algunas características físico-químicas de estas enzimas. Así, la estructura tridimensional del centro activo de las xilananas de la familia 10 hace que estas sean menos estrictas en cuanto al sustrato y más activas sobre xiloooligosacáridos de bajo grado de polimerización que las xilananas de la familia 11 (Biely et al., 1997; Leggio et al., 2000; Sabini et al., 2001). Un pequeño número de xilananas caracterizadas más recientemente no presenta homología de secuencia con las familias clásicas de xilananas 10 u 11, y en su lugar presentan homología con otras familias de glicosil hidrolasas, como las familias 5, 7, 8 y 43 (Collins et al., 2005).

APLICACIÓN DE LAS XILANASAS

Los sistemas enzimáticos microbianos suponen actualmente un importante potencial biotecnológico aplicable en numerosas

industrias en el ámbito de las denominadas tecnologías limpias o tecnologías sostenibles. En ellas se han introducido etapas biotecnológicas en procesos productivos convencionales para dar lugar a unos procesos de producción alternativos de impacto ambiental minimizado. Las industrias que más se han beneficiado o se pueden beneficiar de la aplicación de enzimas son principalmente la papelera, textil, agrícolas y de alimentación aunque recientemente está aumentando el interés por parte de industrias de bioconversión y síntesis de nuevos compuestos. En este sentido, las hemicelulasas de microorganismos en especial las xilananas, tienen importantes aplicaciones en la industria debido a su enorme potencial para modificar y transformar la lignocelulosa y otros materiales de la pared celular vegetal, muy abundantes en la biomasa en la biomasa vegetal, ampliamente utilizada como materia prima en un gran número de procesos industriales. El uso biotecnológico de estas enzimas se ha incrementado de manera importante, cubriendo un amplio rango de sectores industriales, así, en la actualidad, las xilananas juntamente con las celulasas y pectinasas representan el 40% del mercado global de enzimas industriales (Mandal, 2015). El xilano está presente en grandes cantidades en los desechos de las industrias agroalimentarias, por lo que las xilananas juegan un papel importante en la bioconversión de estos residuos ricos en lignocelulosa (incluyendo residuos sólidos urbanos) en xilosa y otros azúcares fermentables para la producción de etanol (Sun y Cheng, 2002; St. John et al., 2006a). Otro campo prometedor para el uso de xilananas es la bioconversión de xilano a xilitol, un edulcorante bajo en calorías utilizado también en salud dental y como laxante (Polizeli et al., 2005). Las xilananas se utilizan ampliamente como aditivos de piensos para animales monogástricos (como cerdos y gallinas), junto a otras enzimas despolimerizantes (celulasas y pectinasas), para aumentar el valor nutricional de los piensos. En estos casos, la degradación de los arabinoxilanos contenidos en este tipo de piensos reduce la viscosidad del material, con lo que se facilita el tránsito intestinal y la absorción de otros nutrientes, además de potenciar la asimilación de los oligosacáridos resultantes de la degradación del xilano (Polizeli et al., 2005). Babalola et al., (2006) observaron la mejora aparente del nitrógeno y la absorción de fibra,

así como el tiempo de tránsito de alimentación por la aplicación de xilanasa en la alimentación de aves de corral. De esta manera, se ha observado que la incorporación de xilananas en piensos para pollos basados en trigo y centeno aumenta la eficiencia de conversión de la comida suministrada, y por tanto el peso de los pollos, beneficios similares a este pueden obtenerse en la alimentación de cerdos gracias a dietas basadas en trigo suplementadas con xilananas y fosfolipasas (Diebold et al., 2005). Las industrias de jugos conforman una buena parte del mercado de enzimas. La producción de jugos de frutas y verduras requiere métodos de extracción, limpieza y estabilización. En la década de 1930, cuando se inició la fabricación de jugos de frutas cítricas, los rendimientos fueron bajos y se encontraron problemas en la filtración del jugo, debido a su turbidez. El aumento en el conocimiento de los componentes químicos de las frutas y el uso de enzimas microbianas ayudó a resolver estos problemas. Hoy en día, las xilananas, en conjunción con celulosas, amilosas y pectinasas, conducen a un rendimiento mejorado de jugo por medio de licuefacción de frutas y hortalizas; la estabilización de la pulpa de la fruta; aumento de la recuperación de aromas, aceites esenciales, vitaminas, sales minerales, colorantes, pigmentos comestibles, etc., así como, la reducción de la viscosidad, la hidrólisis de las sustancias que dificultan la limpieza física o química del jugo, o que pueden causar nubosidad en el concentrado (Polizeli et al., 2005). Las xilananas, en combinación con endoglucanasas, participan en la hidrólisis de arabinoxilano y almidón, separan y aislan el gluten a partir del almidón en la harina de trigo. Esta enzima también se utiliza en la preparación de mucílago de granos de café (Damiano et al., 2003). Las principales propiedades deseables para las xilananas para uso en la industria alimentaria son de alta estabilidad y una actividad óptima a un pH ácido. Por otro lado, Garg et al., (1998) menciona que las xilananas son útiles en la producción de cerveza, ya que mejora la extracción de azúcar fermentable más a partir de cebada. Por lo tanto, las xilananas se utilizan para hidrolizar los arabinoxilanos para bajar oligosacáridos que decrecen la viscosidad de la cerveza y en consecuencia la eliminación de su aspecto fangoso (Debyser et al., 1997; Dervilly et al., 2002).

En la industria de la panificación las xilananas

tanto de fuentes bacterianas como fúngicas juegan un papel clave durante la fabricación de pan (Beg et al., 2001), mejorando las propiedades reológicas de la masa, el volumen específico y la firmeza de la miga (Martínez-Anaya et al., 1997), aumentando la elasticidad y estabilidad de la masa. La adición de xilanasa a la harina de trigo da como resultados un aumento del 10 % en el volumen del pan (Garg et al., 2010). Basinskiene et al., (2006) demostraron que las xilananas aisladas de *Aspergillus oryzae*, *Humicola insolens* y *Trichoderma reesei* son más eficaces para mejorar la calidad del pan, así mismo, el máximo efecto anti-envejecimiento en el pan se adjudicó a la xilanasa producida por *T. Reesei* (Jiang et al., 2005). Pescado Piedra et al., (2009) encontraron que la adición de peroxidasa y -xylanase endo-1,4- aumenta la absorción de agua, mientras que la incorporación de la glucosa oxidasa no tuvo ningún efecto sobre ella.

Con los avances en las técnicas de biología molecular, se han descubierto otros usos de las xilananas. Recientemente se construyó con el gen de xilanasa de *Aspergillus nidulans*, xlnA una levadura recombinante de vino, resultando en un vino con un aroma más pronunciado que el convencional (Polizeli et al., 2005).

Los xilooligosacáridos han mostrado efectos pre- bióticos, y se puede utilizar en alimentos funcionales, además de que mejoran el crecimiento de bifidobacterias con potencia en la salud en el colon y de ese modo restringen el crecimiento y la proliferación de otras bacterias nocivas (Aachary, 2011). Por lo tanto, los xilooligosacáridos se utilizan en bebidas como la leche de soja, té y café, productos lácteos, postres como pasteles, tartas, galletas jaleas y mermeladas, y preparaciones especiales para ancianos y niños, o como componente activo de preparaciones simbióticas. Entre sus ventajas fisiológicas se encuentran la reducción del colesterol, el mantenimiento de la salud gastrointestinal, y la mejora de la disponibilidad biológica del calcio. También inhiben la retrogradación del almidón, la mejora de las propiedades nutricionales y sensoriales de los alimentos. Para la producción de xilooligosacáridos, el complejo enzimático debe tener baja exoxylananas o actividad β -xilosidasa, para evitar la producción de altas cantidades de xilosa, que tiene efectos inhibitorios sobre la producción de estos (Aachary, 2011; Kumar et al., 2012).

Actualmente, en nuestro grupo de trabajo Cuerpo Académico Industrias Alimentarias (CAIA) se están realizando proyectos de investigación en los que, entre otras cosas, se está estudiando el efecto de enzimas de hongos fitopatógenos en productos alimentarios como carne y pan, en donde se han encontrado resultados interesantes acerca de las propiedades reológicas y organolépticas que proporcionan en particular las xilananas en los alimentos.

CONCLUSIONES

La creciente demanda de las xilananas y su gran potencial en diversos sectores, especialmente en la industria de los alimentos, nos lleva a continuar con los estudios multidisciplinarios de estos complejos enzimáticos.

REFERENCIAS

- Bedford, M. R., & Classen, H. L. (1992). *Influence of dietary xylanase on intestinal viscosity and molecular weight distribution of carbohydrates in rye-fed broiler chicks*. Progress in biotechnology.
- Beg Q K, Kapoor M, Mahajan L, Hoondal G S. (2001). *Microbial xylanases and their industry- al applications: a review*. Applied Microbiology and Biotechnology 56, 326-338.
- Biely, P. (1985). *Microbial xylanolytic systems*. Trends in Biotechnology 3, 286-290.
- Biely P, Danskø M, Tenkanen M, Kluepfel D. (1997). *Endo- β -1,4- xylanase families: differences in catalytic properties*. J Biotech- nol 57, 151-166.
- Collins T, Gerday C, Feller G. (2005). *Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases*. FEMS Microbiol Rev 29, 3-23.
- Corral, O L, Villaseñor-Ortega F. (2006). *Xylanases. Advances in Agricultural and Food Bio-technology*. 1, 305-322.
- Coughlan G P, Hazlewood M P. (1993). *β -1,4-D-xylan-degrading enzyme system: Biochem- istry, molecular biology, and applications*. Biotechnol. Appl. Biochem. 17, 259-289.
- Coutinho, P.M. y Henrissat, B. (1999). *Carbohydrate-active enzymes: an integrated database approach*. En Recent Advances in Carbohydrate Bioengineering. 1, 3-12.
- Chothia, C. y Lesk, A.M. (1986). *The relation between the divergence of sequence and structure in proteins*. The EMBO Journal 5, 823-826.
- Cho S, Choi Y. (1995). *Nucleotide sequence analysis of an endo- xylanase gene (xynA) from *Bacillus stearothermophilus**. J Micro- biol Biotechnol 5, 117-124.
- De Vries, R.P., Visser, J. y De Graaff, L.H. 1999. CreA modulates the XlnR-induced expression on xylose

- of *Aspergillus niger* genes involved in xylan degradation. Research in Microbiology 150, 281-285.
- Doner, L. W., & Hicks, K. B. 1997. Isolation of hemicellulose from corn fiber by alkaline hydrogen peroxide extraction. Cereal Chemistry, 74, 176-181.
- Fontes CMGA, Gilbert HJ, Hazlewood GP, Clarke JH, Prates JAM, McKie VA, Nagy T, Fernandes TH, Ferreira LMA. 2000. A novel *Cellvibrio mixtus* family 10 xylanase that is both intracellular and expressed under non-inducing conditions. Microbiology 146, 1959-1967.
- Garg AP, Roberts JC, and McCanthy AJ. 1998. Bleach boosting effect of cellulosa-free xylanase of *Streptomyces thermophilic* and its comparison with two commercial enzyme preparations on birchwood kraft pulp. Enzyme Microb Technol 27, 594-598.
- Gilkes NR, Henrissat B, Kilburn DG, Miller RC Jr, Warren RAJ. 1991. Domains in microbial b-1,4-glycanases: sequence conservation, function, and enzyme families. Microbiol Rev 55, 303-315.
- Henrissat, B. 1991. A classification of glycosyl hydrolases based on amino acid sequence similarities. The Biochemical Journal 280, 309-316.
- Henrissat, B. y Bairoch, A. 1996. Updating the sequence-based classification of glycosyl hydrolases. The Biochemical Journal 316, 695-696.
- Jiang, Z., Dang, W., Yan, Q., Zhai, Q., Li, L. y Kusakabe, I. 2006. Subunit composition of a large xylanolytic complex (xylanosome) from *Streptomyces olivaceoviridis* E-86. Journal of Biotechnology 126, 304-312.
- K.B. Bastawde. 1992. Xylan structure, microbial xylanases, and their mode of action, World J. Microbiol. Biotechnol 8, 353-368.
- Kormeling FJM, Searte Van Leeuwen MJF, Wood TM, Voragen AGJ. 1991. Purification and characterization of a 1,4- β -arabinopyranose arabinohidrolase from *Aspergillus awamori*. Appl Microbiol Biotechnol 35, 753-758.
- Kulkarni N, Shendye A, Rao M. 1999. Molecular and biotechnological aspects of xylanases. FEMS Microbiol Rev 23, 411-456.
- Leggio, L.L., Jenkins, J., Harris, G.W. y Pickersgill, R.W. 2000. X-ray crystallographic study of xylopentaose binding to *Pseudomonas fluorescens* xylanase A. Proteins 41, 362-373.
- Loera O and Córdova J. 2002. Improvement of xylanase production by a parasexual cross between *Aspergillus niger* strains. Brazilian Archives of Biology and Technology. En prensa
- Mandal, S. 2015. Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors. African Journal of Biotechnology, 9, 8038-8047.
- Pason, P., Kyu, K.L., y Ratanakhanokchai, K. 2006. *Paenibacillus curdlanolyticus* Strain B-6 Xylanolytic-Cellulolytic Enzyme System That Degrades Insoluble Polysaccharides. Applied and Environmental Microbiology 72, 2483-2490.
- Polizeli MLTM, Rizzatti ACS, Monti R, Ternzi HF, Jorge A, Amorim. 2005. Xylanase from fungi: properties and industrial applications. Appl Microbiol Biotechnol 67, 577-591
- R.C. Kuhad, A. Singh. 1993. Lignocellulosic biotechnology: Current and future prospects, Crit. Rev. Biotechnol. 13, 151-172.
- Sabini, E., Wilson, K.S., Danielsen, S., Schülein, M. y Davies, G.J. 2001. Oligosaccharide binding to family 11 xylanases: both covalent intermediate and mutant product complexes display (2,5)B conformations at the active centre. Acta Crystallographica. Section D, Biological Crystallography 57, 1344-1347.
- Shoham, Y., Lamed, R., y Bayer, E.A. 1999. The cellulosome concept as an efficient microbial strategy for the degradation of insoluble polysaccharides. Trends in Microbiology 7, 275-281.
- Stölke, J. y Hillen, W. 2000. Regulation of carbon catabolism in bacillus species. Annual Review of Microbiology 54, 849-880.
- Voragen A G J, Gruppen H, Verbruggen M A, Vietor R J. 1992. Characterization of cereals arabinoxylans, in: Xylan and Xylanases, Elsevier, Amsterdam; 3, 89-99.
- Wong K K Y, Saddler J N. 1993. Applications of hemicellulases in the food, feed, and pulp and paper industries, in: M.P. Coughlan, G.P. Hazlewood (Eds.) Hemicelluloses and Hemicellulases, Portland Press, London, pp. 345.
- Wong, K.K.Y., Tan, L.U.L. y Saddler, J.N. 1988. Multiplicity of β -1,4-xylanase in microorganisms: Functions and applications. Microbiological Reviews 52, 305-317.
- Wong KKY and Saddler JN. 1993. Applications of hemicellulases in food, feed and pulp and paper industries. In Hemicellulose and Hemicellulases. Coughlan MP and Hazlewood GP (Eds). Portland Press, London; Pp: 127-143.

Biosíntesis de con Nanopartículas de ZnO Extracto Acuoso de Mucílago de *Opuntia Amychlaea*

Francisco-Escudero Juan ¹, Villanueva-Ibáñez Maricela ^{1*}, Lucho-Constantino Carlos Alexander ², Coronel-Olivares Claudia ², Hernández-Pérez María De Los Ángeles ³, Flores-González Marco Antonio ¹

¹ Universidad Politécnica de Pachuca, Carr. Pachuca-Cd. Sahagún Km 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara, 43830 Zempoala, Hgo., México.

² Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, 42190 Mineral de la Reforma, Hgo., México.

³ Departamento de Metalurgia y Materiales, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional. México.

Recibido: 05 de septiembre de 2017; Aceptado: 17 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

Actualmente existe el interés por desarrollar nanopartículas cerámicas como el óxido de zinc, por presentar mayor contacto volumen-superficie y reactividad que un material masivo, cualidad que les permite su aplicación en diversas áreas. Para su obtención, se han desarrollado métodos que involucran procesos físicos y químicos que resultan ser costosos y requieren del uso de precursores tóxicos que quedan adheridos a la superficie de éstos, limitando su aplicación. Es así como se han buscado rutas alternativas de síntesis, donde se involucra el uso de hongos, bacterias, algas o extractos de plantas para promover la biorreducción de iones metálicos. Aprovechando, que el Estado de Hidalgo es uno de los principales productores de tuna y generador de residuos de poda de nopal, se planteó en este proyecto el uso de los extractos acuosos de mucílago de cladodio de *Opuntia amychlaea* (nopal tunero) para ser utilizados como agentes reductores de iones metálicos/estabilizante de partículas, en la biosíntesis de nanopartículas óxido de zinc. Las nanopartículas de óxido de zinc obtenidas presentaron tamaños submicrométricos con estructura cristalina hexagonal. Las nanopartículas obtenidas no presentaron actividad antibacteriana frente a *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* debido al encapsulamiento de polisacáridos y proteínas del mucílago empleado.

Palabras clave: *Mucílago, Biosíntesis, ZnO, nanopartículas*.

Abstract (CBS)

At present, there is an interest in the development of ceramic nanoparticles such as zinc oxide, because it has greater volume-surface contact and reactivity than a massive material, which allows them to be applied in different areas. To obtain them, methods have been developed that involve physical and chemical processes that are expensive and require the use of toxic precursors that are adhered to the surface of particles, limiting their application. This is how alternative routes of synthesis have been sought, where the use of fungi, bacteria, algae or plant extracts to promote the biorreduction of metal ions. Taking advantage of the fact that Hidalgo is one of the main producers of prickly pear, this project involved the use of aqueous extracts of *Opuntia amychlaea* to be used as metal ion / particle stabilizing agents, in the biosynthesis of zinc oxide nanoparticles. The zinc oxide nanoparticles showed submicron sizes with hexagonal structure. The nanoparticles obtained did not show antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* due to the encapsulation of polysaccharides and mucilage proteins employed.

Keywords: *Mucilage, Biosynthesis, ZnO, nanoparticles*.

1. INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas de óxidos metálicos destacan debido a su alta especificidad con las superficies de contacto y por su elevada fracción de átomos superficiales que un material en estado masivo no presenta, razón por la cual sus propiedades físico-químicas están relacionadas con el tamaño de la partícula,

forma y estructura cristalina (Gatoo et al., 2014). El óxido de zinc (ZnO) es un compuesto inorgánico generalmente reconocido como producto de uso seguro con amplias aplicaciones cotidianas. A nivel nanométrico este óxido se comporta como un semiconductor con un ancho de banda de 3.37 eV (Gates et al., 2005), comúnmente con una estructura hexagonal tipo wurtzita en condiciones

ambientales y puede presentar diversas morfologías nanoestructuradas tales como nanohilos, nanofibras, nanoanillos, nanoalambres, nanotubos, nanohélices, nanocajas, nanoesferas, nanobarras, rosetones, etc. Dadas sus propiedades catalíticas, ópticas y eléctricas existe interés en su aplicación en dispositivos optoelectrónicos (Marouf et al., 2016), biosensores (Aini et al., 2015), fármacos, cosméticos, antimicrobianos, etc. Sus métodos de obtención pueden ser tanto físicos, como químicos; sin embargo, estos métodos generalmente requieren de un elevado consumo de energía o el empleo de reactivos que podrían ser tóxicos, limitando su aplicación al quedar residuos de éstos adheridos a la superficie de las nanopartículas (Thakkar et al., 2010).

Es de esta forma que han surgido las síntesis mediante el uso de sistemas biológicos o sus derivados (Punjabi et al., 2015) como una opción para la obtención de nanopartículas, entre los que destacan bacterias, hongos, algas o extractos de plantas que han sido utilizados para llevar a cabo la biosíntesis de nanopartículas dada su capacidad de reducir iones metálicos mediante los diversos metabolitos secundarios presentes (Morales-Díaz et al., 2016).

En este trabajo se propone una ruta alternativa de síntesis de nanopartículas de ZnO (ZnO-NPs), amigable con el ambiente, haciendo uso del extracto acuoso de mucílago de cladodios provenientes de los residuos de poda de *Opuntia amychlaea* (nopal tunero), como agente reductor y estabilizante. Los cladodios o pencas de nopal son un residuo agrícola generado periódicamente durante el proceso de mantenimiento de las plantas. Aproximadamente 10 toneladas de residuos son generados por ha al año, lo que representa un alto costo para removerlos y generalmente son incinerados o dejados a la intemperie para que se incorporen como abono orgánico al suelo (Martínez-González et al., 2001). En este estudio queda demostrada la capacidad del extracto acuoso de mucílago para la biosíntesis de nanopartículas de ZnO sin la adición de ningún agente estabilizante. En la biosíntesis predominaron tamaños de partícula submicrométricos de ZnO libres de fases adicionales no deseadas, como el Zn(OH)₂ sin realizar un tratamiento térmico posterior. Además, el efecto del pH y la temperatura en la formación y morfología de las nanopartículas de

ZnO, así como su actividad antibacteriana fueron investigados.

2. METODOLOGÍA A DESARROLLAR

2.1 Obtención del mucílago acuoso

El extracto acuoso de mucílago se obtuvo de cladodios de *O. amychlaea* recolectados posterior a la poda anual de las cosechas de invernaderos ubicados en Zempoala Hidalgo, México. Se tuvo especial cuidado de recolectar cladodios recién cortados, libres de plagas y con dimensiones aproximadas de 60 cm de largo. Se pesaron 25 g de cladodio picado libre de la cutícula y la extracción se realizó por infusión durante 2 horas en agua desionizada (AD) previamente llevada a 100°C en una relación 1:2. Se retiró la materia orgánica del extracto por ultrafiltración con una membrana Millipore® de 0.2 µm y se almacenó a 5 °C para su posterior uso.

2.2 Biosíntesis de nanopartículas de ZnO

La biosíntesis se realizó adicionando un volumen determinado de una solución 0.1 M de acetato de zinc ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), (High Purity®, 98 % de pureza) en 5 viales y 0.5 mL de extracto. El efecto del pH en la formación de las NPs-ZnO fue determinado mediante el ajuste del pH del medio de reacción con hidróxido de sodio (NaOH, J.T.Baker®, 98% de pureza) 2 M, en un intervalo de 9-13. La determinación del efecto de la temperatura sobre el tamaño se realizó en un medio de reacción a pH 13 con una agitación de 800 rpm y con un intervalo de temperatura entre 20 y 80 °C. En seguida, las síntesis se filtraron y lavaron con agua desionizada por triplicado, para ser finalmente secadas a temperatura ambiente bajo un flujo de aire para posteriormente ser analizadas.

2.3 Caracterización de las NPs-ZnO

Para el registro de los espectros de absorción UV-visible característicos del material de interés, se utilizó un espectrofotómetro Cole Parmer 2800 en un intervalo de 300 a 800 nm. Se realizaron espectros infrarrojos al extracto antes y después de la reacción con el $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, mediante un espectrofotómetro Perkin Elmer System 2000 en un intervalo de barrido de 350 a 4000 cm^{-1} . La morfología de las nanopartículas se exploró con un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) JEOL JSM6701F equipado con un espectrofotómetro EDS para realizar análisis

elemental y mapeo de las muestras. Mediante difracción de rayos X (DRX) se dilucidó la naturaleza cristalina del material con un difractómetro SIEMENS D-5000 empleando una radiación Cu-K α 1 ($\lambda = 0.15406$ nm) y Cu-K α 2 ($\lambda = 0.154439$ nm).

2.4 Actividad antibacteriana

El efecto antibacteriano de las nanopartículas contra *S. aureus* y *E. coli* fue evaluado por el método de agar por difusión en pocios. 100 μ L (106 UFC) de cada bacteria fueron inoculadas y dispersadas en agar Muller Hinton, se depositaron 40 μ L de cada muestra preparada con 1628 μ g/mL y como control positivo se empleó gentamicina. Finalmente, las cajas Petri fueron incubadas a 37 °C durante 24.

3. RESULTADOS

3.1 Influencia del pH en el medio de reacción de NPs-ZnO

3.1.1 Análisis de espectroscopia de absorción UV-visible

La influencia del pH del medio de reacción sobre el tamaño de partícula, se determinó a valores de pH comprendidos entre 9-13. En la figura 1, se aprecia que la mayoría de los máximos de absorción UV-visible, obtenidos en el intervalo estudiado, se encuentran ubicados entre 347 y 361 nm, asignados a la absorción de las NPs-ZnO (Prasad et al., 2006).

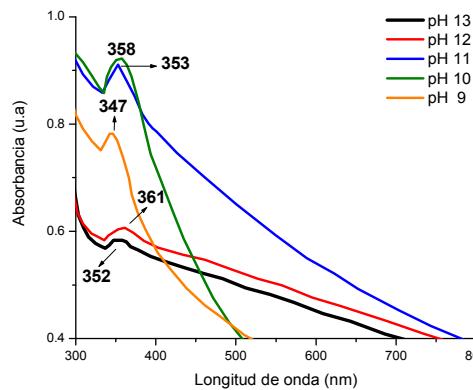


Figura 1. Espectros de absorción UV-Visible de partículas de óxido de zinc obtenidas a un pH de 9-13.

3.1.2 Caracterización estructural

Los análisis en granulometría láser mostraron que el intervalo de tamaño se encuentra comprendido entre 450 y 650 nm, y que a valores de pH superiores a 11, el tamaño de

partícula es relativamente menor por lo que existe una mayor dispersión con respecto al tamaño que se obtiene al usar valores de pH= 9 (figura 2). Este comportamiento puede atribuirse a que el tamaño final de la partícula es dependiente de la competencia entre su crecimiento y la eliminación de segundas fases ($Zn(OH)_2$) (Baruah y Dutta, 2009).

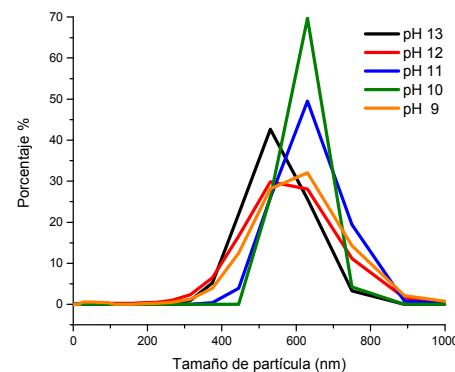


Figura 2. Granulometría láser de partículas de óxido de zinc obtenidas a un pH de 9-13.

Los resultados obtenidos por difracción de rayos X, muestran que las nanopartículas obtenidas a pH 9 y 10 presentan un conjuntos de picos de difracción ubicados en $2\theta=31.6^\circ$, 34.3° , 36.1° , 47.3° , 56.5° , 62.8° , 67.9° y 69.1° correspondiente a los planos cristalográficos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) y (201), característicos del ZnO con estructura hexagonal tipo wurtzita (JCPDS No. 089-1397), sin embargo, en ambos casos, se observaron picos de difracción asociados a la formación de $Zn(OH)_2$ con estructura ortorrómbica (JCPDS No. 74-0094) (figura 3).

Wu et al. (2010) reportan la formación de estructuras similares, indicando que la formación de NPs-ZnO y NPs- $Zn(OH)_2$ es simultánea, tal y como se observó en los espectros de absorción UV-visible de la figura 1, donde el espectro de absorción correspondiente a las partículas obtenidas a pH 9 presentan una máxima absorción en 347 nm debido a la presencia de $Zn(OH)_2$. Como Xu y Wang (2011) lo mencionan, a pH 9 se produce una gran cantidad de nanopartículas de $Zn(OH)_2$, y una baja cantidad de cristales de ZnO precursores para el crecimiento de nanoestructuras de ZnO. Los picos de difracción de las partículas obtenidas a pH 11, 12 y 13, muestran la formación de óxido de zinc libre de

hidróxido de zinc, ya que no se observaron picos adicionales de los característicos del ZnO. La muestra de nanopartículas obtenida a pH 13, presentó un tamaño de cristal de 4.86 Å, calculado mediante la fórmula de Scherrer.

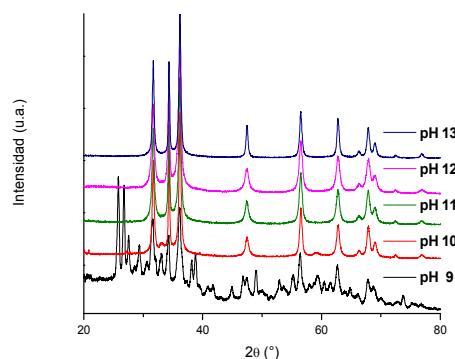


Figura 3. Patrones DRX de nanoestructuras de ZnO a diferente valor de pH de reacción (Fichas JCPDS 089-1397 (ZnO) y JCPDS 74-0094 (Zn(OH)2)).

3.1.3 Caracterización morfológica

Las imágenes de MEB de los nanomateriales obtenidos a diferentes valores de pH de la reacción se muestran en la figura 4. Se aprecia que las nanopartículas obtenidas a valores de pH 9 y 10 (figura 4a y 4b), presentan morfologías semiesféricas con tamaño de partícula de aproximadamente 100 nm, debido a que el crecimiento anisotrópico de las NPs-ZnO queda limitado a esos valores de pH, por la escasa formación de partículas de ZnO que sirven como puntos de nucleación. Sin embargo, al aumentar el pH a 11, 12 y 13 (figuras 4c, 4d y 4e, respectivamente) se favorece la formación de nanopartículas con morfología semiesférica, que se agrupan en una forma triangular con tamaño de partícula cercano a 1 µm, y que favorecen la formación de agregados más complejos tipo flor. Para el caso de las nanopartículas obtenidas a pH 13, se favorece una morfología tipo lámina.

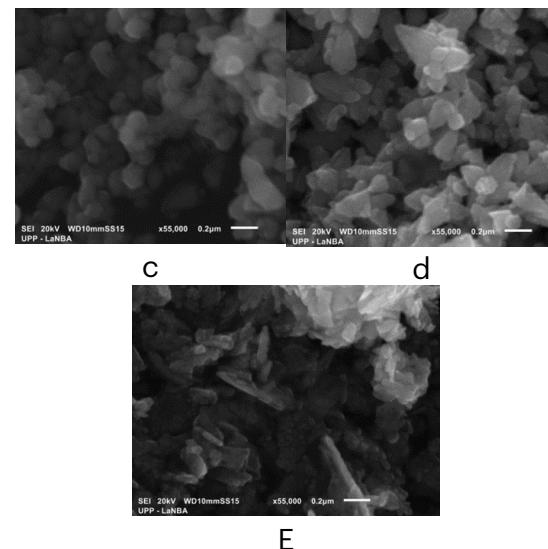
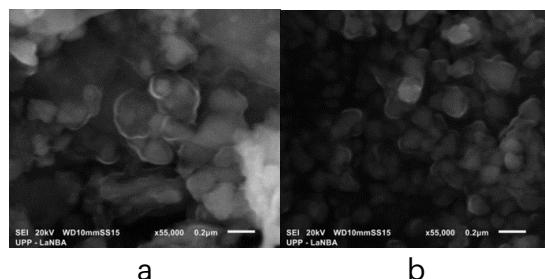
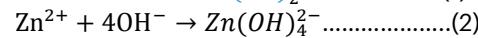
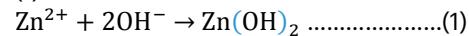


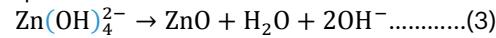
Figura 4. Microscopía Electrónica de Barrido de NPs-ZnO obtenidas a diferente pH: a) 9, b) 10, c) 11, d) 12 y e) 13.

El aumento en el tamaño de partícula entre el material obtenido a pH 9 y a pH 10, se debe principalmente a que a pH 9 aún se encuentra Zn(OH)₂ que no ha sido reducido, ya que de acuerdo a Pung *et al.* (2012), presenta morfologías con tamaños micrométricos pero que al momento de ser obtener ZnO el tamaño disminuye, como ocurrió a pH 10.

El pH es un factor importante en la formación de NPs-ZnO tal como lo reporta Ikono *et al.* (2012) donde el porcentaje de obtención de ZnO observó que aumentaba conforme el pH de la reacción era más alcalino, obteniendo una pureza del 42.9%, 62.2%, 64.7% y 100% a un pH 7.8, 10 y 12, respectivamente. Pung *et al.* (2012), señalaron que existen diversas especies iónicas en solución dependiendo de la concentración de iones OH⁻ adicionados. A pH 9 se obtiene Zn(OH)₂ insoluble, como se indica en la ecuación (1).



Al seguir aumentando el pH se forma el ion tetrahidroxozincato ($\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$) (ecuación (2)) que puede servir como un centro de nucleación de ZnO. El ion tetrahidroxozincato de zinc da lugar a ZnO, como se propone en la ecuación química 3.



A partir de aquí, se determinó que el pH del medio de reacción influye de manera directa en el tamaño y formación de las NPs-ZnO, ya que se obtuvieron tamaños de partícula menores cuando el pH aumentó. Los resultados obtenidos

son similares a lo reportado por Song *et al.* (2008), por lo que con este protocolo de síntesis el medio de reacción se ajustó a pH 13 para garantizar la obtención de NPs-ZnO.

3.2 Influencia de la temperatura en el medio de reacción de NPs-ZnO

3.2.1 Análisis de espectroscopia de absorción UV-visible

Para estudiar el efecto de la temperatura en la síntesis, se utilizó 0.5 mL del extracto acuoso en un medio de reacción a pH 13. Los experimentos se realizaron a temperaturas de síntesis comprendidas entre 20 y 80 °C. Dando como resultado, espectros de absorción UV-visible con máximos ubicados a 340 y 342 nm, para los materiales inmersos en las síntesis realizadas a 20 y 40 °C, respectivamente. Estos espectros presentaron una banda mejor definida en comparación con las ubicadas a 349 y 362 nm, correspondientes a temperaturas de 60 y 80°C (figura 5).

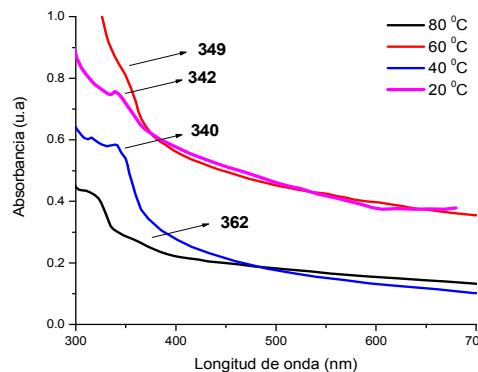


Figura 5. Espectros de absorción UV-Visible de partículas de óxido de zinc obtenidas con temperaturas de 20-80°C.

Este comportamiento se debe a que, al aumentar la temperatura, el tamaño de partícula también incrementa, ya que los procesos de nucleación y crecimiento, son dependientes de la temperatura de síntesis.

3.2.2 Caracterización estructural

Para corroborar el efecto de la temperatura sobre el tamaño de partícula, se realizó el análisis en granulometría láser que se muestra en la figura 6. Se aprecia que al elevar la temperatura de síntesis, se promueve la nucleación de las partículas, generando un aumento en su tamaño (Kang *et al.*, 2003).

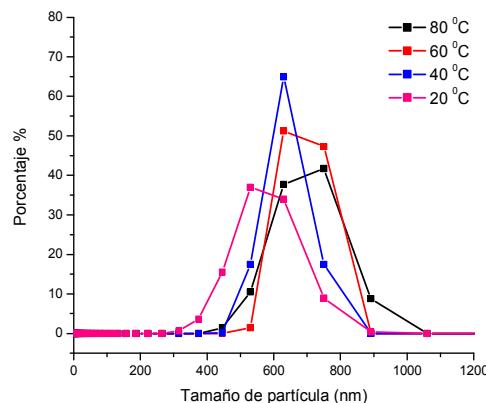


Figura 6. Granulometría láser de partículas de óxido de zinc obtenidas a temperaturas de 20-80°C.

3.2.3 Difracción de Rayos X

En la figura 7, se muestran los patrones de DRX de las muestras de ZnO obtenidas en rangos de temperaturas de 20-80°C. En todos los casos, se pueden observar los picos de difracción característicos del ZnO, relativamente anchos, que son indicativos de la formación de cristales de tamaño nanométrico. Además, no se observan picos adicionales que indiquen la formación de Zn(OH)₂ u otro tipo de impurezas.

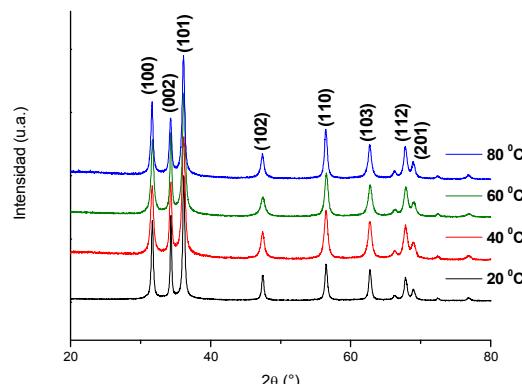


Figura 7. Patrones DRX de partículas de ZnO obtenidas a diferentes temperaturas de reacción (Ficha JCPDS 089-1397).

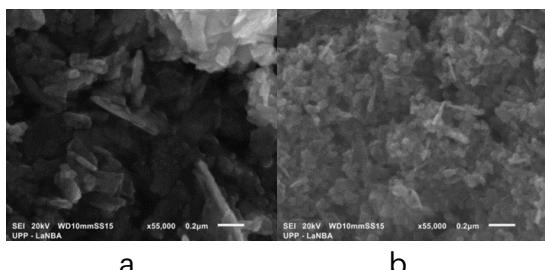
En el mismo contexto, los difractogramas muestran un pico predominante en el plano (101), fenómeno característico de la dirección del crecimiento cristalino que indica que las nanopartículas de ZnO cristalizan preferentemente en una estructura hexagonal wurtzita. Las intensidades relativas de las difracciones (100) y (002) son las mismas en un intervalo de temperatura de 20 a 60 °C y a 80°C.

la intensidad de (002) con respecto a la de (100) es mayor, lo que puede indicar un cambio en el crecimiento preferencial de las estructuras formadas.

Es de destacar en este proceso, que se ha logrado obtener nanoestructuras a temperatura ambiente; ya que por lo general, para que el ZnO presente una estructura tipo wurtzita, se requiere de temperaturas superiores durante el proceso de síntesis, así como de un proceso posterior de calcinado (Özgür et al., 2005).

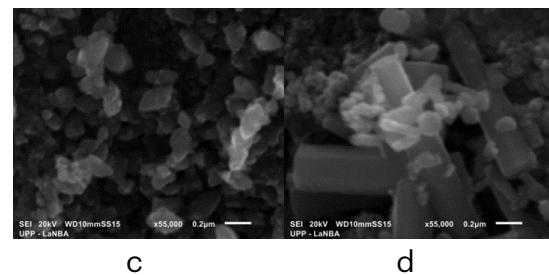
3.2.4 Caracterización morfológica

Para el caso de las nanopartículas evaluadas a diferentes temperaturas, en la figura 8 se muestran imágenes obtenidas en MEB de las estructuras obtenidas a temperaturas comprendidas entre 20 y 80 °C. En la figura 8a, se aprecia la formación NPs-ZnO con forma de hojas o láminas irregulares de 100 nm de espesor y un largo de aproximadamente 800 nm a una temperatura de 20 °C, con morfología mayoritariamente tipo lámina. En la figura 8b se observan semiesferas de 50 nm cuando la biosíntesis se realiza a una temperatura de 40 °C. Mientras que en la figura 8c se aprecian morfologías similares a rombos de 40 nm cuando se realiza la biosíntesis a una temperatura de 60 °C. En la figura 8d, se muestra que a 80 °C tienden a formarse partículas con morfología casi hexagonal que se aglomeran formando barras o varillas con esa misma base, cuyas dimensiones son de aproximadamente 250 nm de ancho y 900 nm de largo, este cambio en la morfología pudo apreciarse en los patrones de difracción registrados en la figura 7 con las intensidades relativas de los tres principales picos de difracción.



a

b



c

d

Figura 8. Microscopía Electrónica de Barrido de NPs-ZnO obtenidas a diferentes temperaturas: a) 20°C, b) 40°C, c) 60°C y d) 80°C.

3.3 Identificación de grupos funcionales involucrados en la biosíntesis de NPs-ZnO

Se llevó a cabo la caracterización de las nanopartículas obtenidas con espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier para poder identificar grupos funcionales, que corresponden a moléculas de los metabolitos involucrados en la estabilización de las nanopartículas. Los grupos funcionales identificados, se muestran en la figura 9.

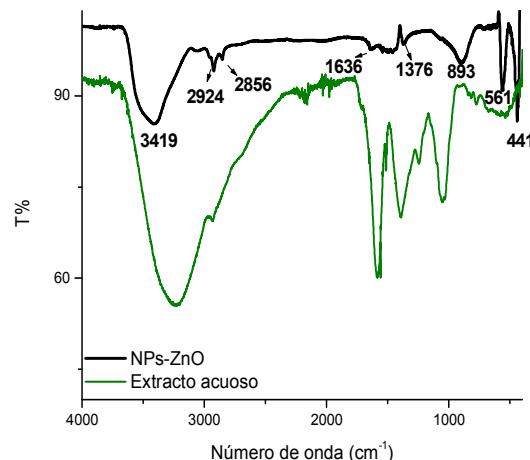


Figura 9. Espectro IR de NPs-ZnO obtenidas con extracto acuoso, y espectro IR del extracto acuoso.

Se puede observar que hay un desplazamiento de la banda ubicada a 3375 cm⁻¹ correspondiente a los grupos OH y que indica interacción de éstos con las nanopartículas. Las bandas a 2856 y 2924 cm⁻¹ corresponden al estiramiento del C-H del grupo metilo (Georgekutty et al., 2014). Las bandas ubicadas a 1376 (Maensiri et al., 2006) y 1636 cm⁻¹ (Sibu et al., 2002) representan el estiramiento simétrico y asimétrico respectivamente de especies de acetato. La banda observada a 893 cm⁻¹ puede

atribuirse al C-H (fuera del plano) de alquenos. Mientras que las bandas observadas a 441 y 561 cm⁻¹ corresponden al enlace metal-oxígeno (M-O) de Zn-O ubicado entre 400 y 600 cm⁻¹ (Borchert et al., 2005). En la tabla 1, se condensan los grupos funcionales identificados.

De esta forma, se determinó que los polisacáridos contenidos en los extractos acuosos de mucílago son los responsables de la estabilización de las nanopartículas (Thirumavalavan et al., 2013). También se ha reportado que residuos de compuestos fenólicos, terpenoides o proteínas estabilizan por su interacción con la superficie de las partículas (Sangeetha et al., 2011).

Tabla 1. Grupos funcionales involucrados en la biosíntesis de NPs-ZnO.

Número de onda(cm ⁻¹)	Asignación
3419	Elongación de los enlaces OH de agua y polisacáridos (Rana et al., 2009).
2924	Estiramiento del C-H del grupo metilo (Georgekutty et al., 2014).
2856	Estiramiento del C-H del grupo metilo (Georgekutty et al., 2014).
1636	Estiramiento asimétrico de especies de acetato (Sibu et al., 2002)
1376	Estiramiento simétrico de especies de acetato (Maensiri et al., 2006)
893	C-H de alquenos
561	Enlace metal-oxígeno (M-O) (Borchert et al., 2005).
441	Enlace metal-oxígeno (M-O) (Borchert et al., 2005).

3.4 Actividad antibacteriana de las NPs-ZnO La actividad antibacteriana es una de las propiedades importantes que presentan las NPs-ZnO. Por lo tanto, fue de interés estudiar su efecto frente a cepas de *E. coli* y *S. aureus*. En la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de actividad antibacteriana de las nanopartículas obtenidas.

Tabla 2. Actividad antibacteriana de las NPs-ZnO.

Muestra	No.	Microorganismo	
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
NPs-ZnO directo de síntesis (ZnOS)	1	-	-
NPs-ZnO lavadas (ZnOP)	2	-	-
Solución de acetato de zinc (SA)	3	+++	+++
Extracto acuoso (EA)	4	-	-
Gentamicina (C+)	5	++++	++++

De acuerdo a la tabla 2, se observó, que las muestras denominadas ZnOS (partículas tomadas directamente de síntesis), ZnOP (partículas separadas del medio y lavadas) y EA (extracto acuoso), no presentaron actividad antibacteriana contra *E. coli* y *S. aureus*. Sin embargo, el control positivo (C+), y la solución de acetato de zinc [0.1 M], sí presentaron actividad antibacteriana, al formar halos de inhibición contra *E. coli* de 23 mm y 25 mm contra *S. aureus*, y de 12 mm contra *E. coli* y 11 mm contra *S. aureus*, respectivamente (figura 10).

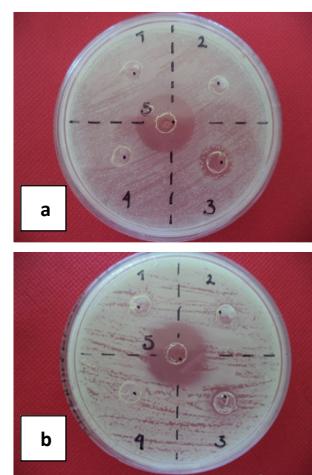


Figura 10. Actividad antibacteriana de las NPs-ZnO contra: a) *E. coli*, y b) *S. aureus*.

Es bien conocido que las NPs-ZnO presentan actividad antibacteriana; sin embargo, en este estudio no fue apreciable. Entre los factores que podrían afectar esta actividad se encuentran: 1) La concentración de las partículas utilizada en las pruebas biológicas. Establecer una comparación con los trabajos realizados al respecto resulta difícil, ya que se reportan diversas formas de preparar y aplicar las soluciones de nanopartículas en las pruebas. Se han encontrado estudios en donde se emplean las partículas de forma directa en el disco a ensayar, desde 25 hasta 100 µg (Murali et al., 2017) o se preparan soluciones con el mismo extracto que van desde 2.5 hasta 17.5 mg en 4 ml de extracto y aplicando 50 µL en cada prueba (Madan et al., 2016), por dar algunos ejemplos, y aunque se observó actividad antibacteriana, la concentración de partículas es considerable. En el presente trabajo se reporta el efecto de 40 µL de una solución de 1628 µg/mL donde no se presentó actividad antibacteriana.

2) Tamaño de partícula. En este trabajo las NPs-ZnO obtenidas tuvieron tamaños entre ~30 y 400 nm, dependiendo de las condiciones de obtención y no presentaron actividad antibacteriana. Pal *et al.* (2007) reportan que nanopartículas con tamaños de 1100 nm, presentaron interacción con la membrana celular de la bacteria (Morones *et al.*, 2005). Aunado a lo anterior, se ha reportado que se presenta la actividad antibacteriana debido a la interacción con grupos tiol de proteínas presentes en la pared celular, lo que provoca una disminución de la permeabilidad de la célula y que conduce a la lisis celular (Gunalan *et al.*, 2012).

Ya que ninguno de los anteriores factores promovió la actividad deseada, y tomando en cuenta los análisis realizados a las NPs obtenidas, se considera que la razón por la que no se presenta la actividad antibacteriana, es la presencia de un recubrimiento orgánico proveniente del extracto del mucílago que rodea a las nanopartículas, como lo pone en evidencia el resultado de FTIR y las observaciones MEB, por una lado se tienen presentes grupos funcionales adheridos a la superficies, pero la estructura y composición de las partículas son las deseadas aunque al estar encapsuladas por las proteínas y polisacáridos del mucílago, forman una barrera que evita que las bacterias tengan contacto con la superficie de éstas. Estudios complementarios que confirmen lo anterior están en curso.

ANEXOS

Formula de Scherrer

$$D = K\lambda/\beta \cos \theta \dots \quad (4)$$

Donde:

D= Tamaño de cristal

K= Constante de Scherrer

λ = Longitud de onda de la radiación

β = FWHM

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo de Conacyt otorgado a J.F.E. por la beca de posgrado otorgada y al MM. R. González por los análisis realizados en MEB.

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró obtener partículas de ZnO mediante el extracto acuoso de mucílago proveniente de cladodios de *O. amychlaea*. Se establecieron las condiciones de pH adecuadas ($pH > 10$) para obtener NPs-ZnO libres de $Zn(OH)_2$ con menor tamaño de partícula. Se observó que la variable que influyó de manera gradual en la síntesis, fue el pH al ser determinante en la formación de partículas de ZnO que fungen como centros de nucleación para la posterior formación de NPs-ZnO. Por otro lado, el aumento de la temperatura en el medio de reacción dio lugar a que el tamaño de partícula aumentara, por lo que la temperatura de síntesis recomendada es de 20°C. Los polisacáridos y proteínas contenidos en el extracto acuoso de mucílago de *O. amychlaea*, juegan un rol muy importante en el proceso de reducción/estabilización para la formación de NPs-ZnO. Sin embargo, al quedar las partículas recubiertas por estas moléculas, la actividad antibacteriana se ve afectada.

REFERENCIAS

- Aini, B., Siddiquee, S., Ampon, K., Rodrigues, K., & Suryani, S. (2015). Development of glucose biosensor based on ZnO nanoparticles film and glucose oxidase-immobilized eggshell membrane. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 4, 46–56.
- Anantharaju, K.S., Prashantha, S.C., Sadananda, V. (2016). Facile Green Fabrication of Nanostructure ZnO Plates, Bullets, Flower, Prismatic tip, Closed pine cone: Their Antibacterial, Antioxidant, Photoluminescent and Photocatalytic Properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 152, 404-416
- Baruah, S. & Dutta, J. (2009). Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. *Science and Technology of Advanced Materials*, 10, 1-18.
- Borchert, H., Shevchenko, E., Robert, A., Mekis, I., Kornowski, A. & Grübel, G. (2005). Determination of nanocrystal sizes: A comparison of TEM, SAXS and XRD studies of highly monodisperse CoPt₃ particles. *Langmuir*, 21, 1931–1936.
- Cho, K., Park , J., Osaka, T. & Park , S. (2005). The study of antimicrobial activity and preservative effects of nanosilver ingredient. *Electrochimica Acta*, 51, 956–960.
- Gates B D., Yang, L., Wang, G., Tang, C., Wang, H., Zhang, L. (2005). Synthesis and photoluminescence of corn-like ZnO nanostructures under solvothermal-assisted heat treatment. *Chemical Physics Letters*, 409, 337-341
- Gatoo, M., Naseem, S., Arfat, M., Zubair, S., Qasim, K., & Mahmood Dar, A. (2014). Physicochemical Properties of Nanomaterials: Implication in

- Associated Toxic Manifestations. *Biomed Research International*, 2014 ,1-8.
- Georgekutty, R., Sheery, M., & Pillai, S. (2014). A highly efficient Ag-ZnO photocatalyst: synthesis properties mechanism. *The journal of physical chemistry C*, 112, 13563-13570.
- Gunalan, S., Sivaraj, R. & Rajendranb, V. (2012). Green synthesized ZnO nanoparticles against bacterial and fungal pathogens. *Progress in Natural Science: Materials International*, 22, 693-700.
- Kang, Y., Siegel, P., Shu, W., Drobniak , M., Kakonen , S. & Massague, T. (2003). A multigenic program mediating breast cancer metastasis to bone. *Journal of Cancer Cell*, 3, 537-549.
- Maensiri, S., Laokul, P., & Promarak, V. (2006). Synthesis and optical properties of nanocrystalline ZnO powders by simple method using zinc acetate dihydrate and poly (vinyl pyrrolidone). *Journal of crystal growth*, 289, 102-106.
- Madan, H.R., Sharma, S.C., Suresh, D., Vidya, Y.S., Nagabhushana, H., Rajanaik, H. (2016). Facile green fabrication of nanostructure ZnO plates, bullets, flower, prismatic tip, closed pine cone: Their antibacterial, antioxidant, photoluminescent and photocatalytic properties. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 152, 404-416.
- Marouf, S., Beniaiche, A., Guessas , H., & Azizi, A. (2016). Morphological, Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Dip Coating Method. *Materials Research*, 20, 88-95.
- Martínez-González, J. C., López-Jiménez, A., Cruz-Hernández, J. P. & Delgado-Alvarado, A. (2001). Poda y época de despunte en cladodios de nopal tunero. *Agrociencia*, 35, 159-167.
- Morales-Díaz, A., Juárez-Maldonado, A., Morelos-Moreno, A., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Biofabricación de nanopartículas de metales usando células vegetales o extractos de plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 1211-1224.
- Morones, J., Elechiguerra , J., Camacho , A., Holt, K., Kouri , J., Ramírez, J. & otros. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16, 2346-2353.
- Özgür, Ü., Alivov, Y., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. & Doğan, S. (2005). A Comprehensive. Review of ZnO Materials and Devices. *Journal of Applied Physics*, 98, 041301-1-041301-103.
- Pal, S., Tak, Y. & Song, J. (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl. Environmental Microbiology*, 73, 12-20.
- Prasad, V., D'Souza, C., Yadav, D. & Vigneshwaran, N. (2006). Spectroscopic characterization of zinc oxide nanorods synthesized by solid-state reaction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 65, 173-178.
- Pung, S., Lee, W., & Aziz, A. (2012). Kinetic study of organic dye degradation using ZnO particles with different morphologies as a photocatalyst. *International journal of Inorganic chemistry*, 2012, 9.
- Punjabi, K., Choudhary, P., Samant, L., Mukherjee, S., Vaidya , S., & Chowdhary, A. (2015). Biosynthesis of nanoparticles: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 30, 219-226.
- Sangeetha, G., Rajeshwari, S. & Venkatesh, R. (2011). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles by *Aloe barbadensis miller* leaf extract: structure and optical properties. *Materials Research Bulletin*, 46, 2560-2566.
- Sibu, C., Kumar, S., Mukundan, P., & Warrier, K. (2002). Structural modifications and associated properties of lanthanum oxide doped sol-gel nanosized titanium oxide. *Chemistry of materials*, 14, 2876-2881.
- Sondi, I. & Salopek, S. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *Journal of colloid and interface science*, 275, 177-182.
- Song, J., Baek, S., Lee, J. & Lim, S. (2008). Role of OH- in the low temperature hydrothermal synthesis of ZnO nanorods. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 83, 345-350.
- Thakkar, K., Mhatre, S., & Parikh, R. (2010). Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6, 257-262.
- Thirumavalavan, M., Huang, K., & Lee, J. (2013). Synthesis and properties of nano ZnO using polysaccharides as chelating agents: effects of various parameters on surface modification of polysaccharides. *Colloids and surface A: physicochemical and engineering aspects*, 417, 154-160.
- Wu, D., Jiang, Y., Liu, J., Yuan, Y., Wu, J. & Jiang, K. (2010). Template route to chemically engineering cavities at nanoscale: A case study of Zn(OH)₂ template. *Nanoscale Research Letters*, 5, 1779-1787.
- Xu, S. & Wang, Z. (2011). One-dimensional ZnO nanostructures: Solution growth and functional properties. *Nano Research*, 4, 1013-1098.

Liberación de Péptidos Antioxidantes por medio de la Hidrólisis Enzimática del Concentrado Proteico de *Phaseolus vulgaris* cv Negro Primavera-28

Mendoza-Jiménez Y.L.¹, Eusebio-Moreno J.C.¹, Álvarez-García R.¹, Abreu-Corona A.², Téllez-Jurado A.¹, Tovar-Jiménez X.¹

¹Universidad Politécnica de Pachuca. Carr. Pachuca-Cd. Sahagún km 20, Rancho Luna, Ex-Hacienda de Santa Bárbara. Municipio de Zempoala, Hidalgo, México.

²Universidad Autónoma Metropolitana. Av. Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fé, Cuajimalpa, México, D.F. CP.05348.

Recibido: 05 de septiembre de 2017; Aceptado: 17 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

En los últimos años parte del interés científico se ha enfocado en encontrar ingredientes funcionales que contribuyan en el tratamiento y prevención de enfermedades degenerativas, es por eso que el auge de los péptidos bioactivos, como tema de salud, es una de las más explotadas, pero este campo de investigación aún permanece abierto, ya que los péptidos obtenidos y su actividad dependen de la fuente de la proteína, y/o de la mezcla de proteínas empleadas. Las proteínas de *Phaseolus vulgaris* L., son una opción para éste fin, ya que son una fuente rica y equilibrada de aminoácidos como fenilalanina, tirosina y triptófano, además de ser una fuente importante de péptidos bioactivos, los cuales se incluyen en el grupo de ingredientes funcionales de naturaleza proteica, sin embargo, su potencial no se ha estudiado a detalle. De aquí surge la idea de hidrolizar las proteínas por medio de enzimas, ya que estas generan menos subproductos y se evita la obtención de compuestos tóxicos. Por lo antes mencionado, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del pH en la liberación de péptidos antioxidantes a partir de la hidrólisis enzimática de las proteínas de *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28. Se realizó una cinética de hidrólisis para determinar el tiempo y el pH en el cual se obtiene mayor contenido de péptidos antioxidantes. Los resultados indicaron que se libera mayor contenido de péptidos a pH 7, sin embargo los péptidos liberados a pH 8 presentaron mayor actividad antioxidante ($56 \pm 2\%$ Inhibición ABTS⁺).

Palabras clave: Actividad antioxidante, extracto enzimático, péptidos, *Pleurotus ostreatus*.

Abstract (CBS)

In the last years, scientific interest has focused on finding functional ingredients that contribute to the treatment and prevention of degenerative diseases, that is why the rise of bioactive peptides, as a health issue, is one of the most exploited, but this field of research still remains open, the peptides obtained and their activity depend on the source of the protein, and / or the mixture of proteins used. *Phaseolus vulgaris* L. proteins are an option for this purpose because they are a rich and balanced source of amino acids such as phenylalanine, tyrosine and tryptophan, in addition to being an important source of bioactive peptides, which are included in the group of functional ingredients of protein nature, however, their potential has not been studied in detail. Hence the idea of hydrolyzing proteins by means of enzymes, as these generate fewer by-products and avoiding the production of toxic compounds. Therefore, aim of the study was to evaluate the effect of pH in the release of antioxidant peptides from the enzymatic hydrolysis of the proteins of *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28. A hydrolysis kinetics was performed to determine the time and pH at which the highest content of antioxidant peptides was obtained. The results indicated that higher peptide content is released at pH 7, however the peptides released at pH 8 had higher antioxidant activity ($56 \pm 2\%$ inhibition ABTS⁺).

Key words: Antioxidant activity, enzymatic extract, peptides, *Pleurotus ostreatus*.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años gran parte del interés científico se ha enfocado en encontrar alimentos y/o ingredientes funcionales que contribuyan en el tratamiento y prevención de enfermedades

degenerativas, es por eso que el auge de los péptidos bioactivos, como tema de salud, es hoy en día, uno de las más explotados, pero este campo de investigación aún permanece abierto en muchas áreas, ya que los péptidos obtenidos y su actividad dependen de la fuente de la

proteína, y/o de la mezcla de proteínas empleadas.

Los péptidos con actividad biológica (bioactivos o funcionales) son producidos durante la digestión gastrointestinal o en la elaboración de alimentos y se definen como secuencias de aminoácidos que ejercen determinadas actividades biológicas (antihipertensiva, antioxidante, antimicrobiana, hipocolesterolémante, inmunomoduladora, así como su efecto opioide, entre otras) tras su liberación mediante hidrólisis química o enzimática. Por lo antes mencionado son considerados como ingredientes funcionales ya que pueden prevenir y/o retardar el desarrollo de enfermedades, más allá de ser considerados nutrientes (Hartmann, 2007. González-Córdova, 2011).

Por otro lado, la hidrólisis enzimática proteica es un proceso que consiste en la ruptura del enlace peptídico, consumiendo una molécula de agua, este proceso transcurre a través de un conjunto de etapas en serie (Proteínas→Proteosas→Peptonas →Péptidos → Aminoácidos) y donde las enzimas proteolíticas actúan sobre el enlace peptídico, rompiéndolo, y liberando el grupo amino y el grupo carboxilo. En este sentido, el grado de hidrólisis de las proteínas se determina por las condiciones usadas, es decir, concentración de sustrato, relación enzima/sustrato, tiempo de incubación, condiciones fisicoquímicas (pH, temperatura) y la naturaleza de la actividad enzimática, es decir, su actividad específica y tipo de actividad. Así la naturaleza de la enzima usada no solo influye en el grado de hidrólisis sino también en el tipo de péptidos producidos (Benítez, 2008).

Por otro lado, se están destinando esfuerzos en investigación para la detección de fuentes alimentarias de péptidos bioactivos así como al estudio de su biodisponibilidad, de sus propiedades funcionales y de sus mecanismos de acción (Liu, 2014. Leung, 2007). Una alternativa alimentaria para este fin es el empleo de las proteínas del frijol común, la importancia de este radica en el hecho que es una excelente fuente de hierro, proteínas y en este sentido en aminoácidos esenciales como fenilalanina, tirosina y triptófano, aminoácidos necesarios para que los péptidos presenten actividades antioxidantes y antihipertensivas (Tova-Jiménez,

2012), los cuales pueden ser liberados por la acción proteolítica de *Pleurotus ostreatus*, hasta el momento se sabe que este hongo produce enzimas del tipo serin proteasa (Palmieri et al, 2001), que actúa principalmente en el carboxilo terminal donde se encuentran los aminoácidos triptófano, tirosina, fenilalanina y metionina. Aunado a esto se considera que contiene más del doble de proteínas y casi igual cantidad de carbohidratos que los cereales y es considerado como el alimento básico de la dieta del mexicano. En este sentido las proteínas de frijol y sus péptidos juegan un papel muy importante en sus propiedades fisiológicas, sin embargo, su potencial bioactivo no se ha estudiado a detalle. De aquí surge la idea de hidrolizar enzimáticamente las proteínas, ya que estas generan menos subproductos y se evita la obtención de compuestos tóxicos como la lisinoalanina. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del pH en la liberación de péptidos antioxidantes a partir de la hidrólisis enzimática de las proteínas de *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cinéticas de hidrólisis enzimática

Se colocaron 200 µL de la solución proteica de *P. Vulgaris* cv Negro Primavera-28 ajustada a diferentes valores de pH (5-11), se le añadieron 100 µL del EEPo (28 UA/g proteína), se incubó a 37 °C a diferentes tiempos (0, 30, 60, 90 y 120 min), la reacción se detuvo adicionando 250 µL de TCA (Ácido tricloroacético) al 10%. Al término de cada tiempo se centrifugaron los tubos durante 8 min a 11500 rpm a temperatura ambiente.

Una vez realizada las cinéticas de hidrólisis se cuantificaron los péptidos liberados con la finalidad de determinar a qué pH se obtiene mayor contenido de péptidos, siguiendo la metodología de Saheki y Holzer (Saheki, 1975), la cual consistió en tomar 50 µL del sobrenadante en un tubo eppendorf para añadir 150 µL de agua desionizada, 200 µL del reactivo A (NaOH 1 M [6 mL]; KNaC₄H₄O₆•4H₂O [0.5 mL]; Na₂CO₃ 24 % [5 mL]; CuSO₄ 1 % [0.5 mL]) e incubar durante 10 min a 25 °C; transcurrido el tiempo se adicionó 1 mL del reactivo B (1 mL de Folin Ciocalteu + 19 mL de agua desionizada) para posteriormente incubar a 37 °C durante 30 min en oscuridad.

Finalmente se leyó las absorbancias a 660 nm. El cálculo de los péptidos liberados se realizó a partir de una curva patrón de BSA.

DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Se preparó una solución de abts [2,2'-azino-bis(3-etylbenzotiazolin-6-ácido sulfónico)] (marca amresco grado ultra puro) 7 μ molar en persulfato de amonio (marca sigma aldrich) 4.9 μ molar (1:1 v/v). Esta mezcla se dejó en reposo en oscuridad durante 16 h antes de comenzar las determinaciones. La solución de abts se diluyó hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 a 754 nm, lo cual se logró mezclando 40 μ L de la solución de abts y 960 μ L de etanol absoluto (v/v). Luego, a los 980 μ L de esta dilución se le agregaron 20 μ L de la muestra, se agitó y se midió el cambio de absorbancia a los 7 min de reacción. Se calculó el porcentaje de inhibición de ABTS⁺ (1) (Miller, 1996).

$$\% \text{ inhibición ABTS}^{+} = \frac{\text{Absorbancia inicial} - \text{Absorbancia final}}{\text{Absorbancia inicial}} * 100 \quad (1)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hongo *P. ostreatus* produce enzimas del tipo serin proteasa (Palmieri, 2001), que pueden ayudar a liberar péptidos con actividad biológica debido a que actúan principalmente sobre el carboxilo terminal donde se encuentran los aminoácidos triptófano, tirosina, fenilalanina y metionina, aminoácidos necesarios para que los péptidos presenten actividad antioxidante. El extracto enzimático de este hongo puede ser aplicado en la hidrólisis de las proteínas de *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28 (CPPv-28), estudio que no se había realizado hasta el momento. Por tal motivo, se llevó a cabo la hidrólisis del CPPv-28 con EEPo a diferentes pH (5-11) y tiempos de hidrólisis (0-180 min) a una temperatura de 37 °C, para comprobar si esta enzima puede hidrolizar el CPPv-28 liberando péptidos antioxidantes, así mismo, para definir a que tiempo se libera mayor contenido de péptidos bioactivos.

En la Fig. 1 se presenta la cantidad de péptidos liberados en la hidrólisis enzimática a 37 °C utilizando distintos valores de pH a diferentes tiempos. Se observa que a un pH de 7 se obtuvo la mayor cantidad de péptidos. Sin embargo, en

la Tabla 1 se observa que los péptidos liberados a pH 8 presentan mayor actividad antioxidante.

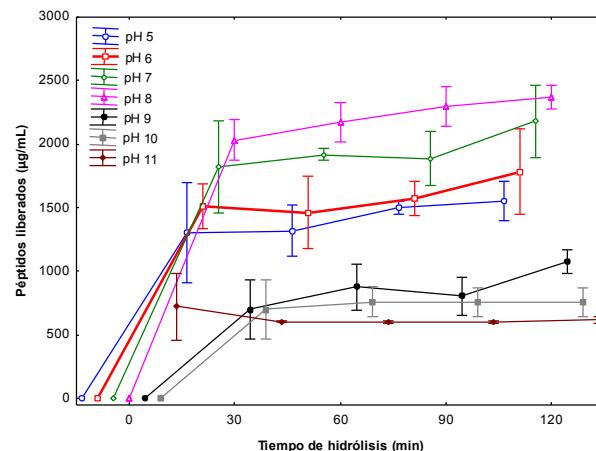


Fig. 1. Cinética de hidrólisis enzimática del concentrado proteico de *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28.

El análisis estadístico realizado indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$; R^2 ajustada: 0.9932) entre los pH evaluados.

Tabla 1: Actividad antioxidante de los péptidos liberados a partir del CPPv-28.

pH	Actividad antioxidante (% inhibición ABTS ⁺)
5	33.61 ± 2.8
6	52.35 ± 3.9
7	54.94 ± 2.5
8	56.01 ± 2
9	42.87 ± 5.8
10	51.14 ± 1.2
11	22.64 ± 1.6

Los péptidos antioxidantes son aquellos péptidos, de 4 a 20 kDa, que tienen la habilidad de inhibir los daños causados por la oxidación lipídica. Esta habilidad parece estar relacionada con la presencia de ciertos residuos de aminoácidos, tales como tirosina, metionina, histidina, lisina y triptófano, los cuales pueden quedar iones metálicos pro-oxidantes (Virtnen, 2007), capturar radicales libres y/o extinguir el oxígeno reactivo (Erdmann, 2008).

Estudios recientes han demostrado que después de la hidrólisis, ciertos péptidos resultantes pueden actuar como antioxidantes en sistemas modelo, pudiendo ser empleados como antioxidantes naturales en productos alimenticios (Alvarado-Carrasco, 2010). De igual forma, se ha reportado que la actividad antioxidante de los péptidos está relacionada

con la presencia de cisteína, la cual promueve la síntesis de glutationato, un potente antioxidante intracelular (Erdmann, 2008. Muro-Urita, 2011).

CONCLUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos se concluye que el extracto enzimático de *P. ostreatus* permitió liberar péptidos con actividad biológica, aunado a esto se obtiene mejor actividad antioxidante ($56 \pm 2\%$ inhibition ABTS⁺) al hidrolizar las proteínas de *P. vulgaris* cv Negro Primavera-28 a pH 8 a un tiempo de hidrólisis de 150 min de hidrólisis.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa para el desarrollo profesional docente, tipo superior (PRODEP) por el apoyo otorgado para desarrollar el proyecto denominado "Obtención de péptidos con actividad biológica a partir de las proteínas de Frijol común" a través de la Convocatoria de Incorporación como Nuevos PTC- Apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento.

REFERENCIAS

- Hartmann R. y Meisel H. Food-derived peptides with biological activity: From research to food applications. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2007. 18: 1-7.
- González-Córdova AF, Torres-Llanez MJ, Rodríguez-Figueroa JC, Espinosa-De los Monteros JJ, García HS y Vallejo-CórdobaB. Angiotensin converting enzyme inhibitory activity in milks fermented by *Lactobacillus* strains. 2011. *CyTA-J. Food.* 9: 146-151.
- Benítez R, Ibarz A y Pagan J. Protein hydrolysates: processes and applications. *Acta Bioquím. Clín. Latinoam.* 2008. 42: 227-36.
- Liu R; Zhu Y; Chen J; Wu H; Shi L; Wang X; Wang L.. Characterization of ACE Inhibitory Peptides from *Mactra veneriformis* Hydrolysate by Nano-Liquid Chromatography Electrospray Ionization Mass Spectrometry (Nano-LC-ESI-MS) and Molecular Docking. *Marine Drugs.* 2014. 12: 3917-3928.
- Leung EHW, Ng TB. A relatively stable antifungal peptide from buckwheat seeds with antiproliferative activity toward cancer cells. *J Pept Sci.* 2007. 13:762-767.
- Tovar-Jiménez, X., Arana-Cuenca, A., Téllez-Jurado, A., Abreu-Corona, A., Muro- Urista, C.R. Traditional Methods for Whey Protein Isolation and Concentration: Effects on Nutritional Properties and Biological Activity. *J. Mex. Chem. Soc.* 2012. 56, 369-377.
- Palmieri G, Bianco C, Cennamo G, Giardina P, Marino G, Monti M, Sannia G. Purification, characterization, and functional role of a novel extracellular protease from *Pleurotus ostreatus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001. 67: 2754- 2759.
- Saheki, T., y Holzer, H. Proteolytic activity in yeast. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1975. 384: 203-212.
- Miller NJ y Rice-Evans CA. Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS radical cation assay. *Free Radic. Res.* 1996. 26: 195-199.
- Virtanen T, Pihlanto A, Akkanen S y Korhonen H. Development of antioxidant activity in milk whey during fermentation with lactic acid bacteria. *J. Appl.Microbiol.* 2007. 102: 106-15.
- Erdmann K, Cheung BW y Schröder H. The possible roles of food-derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular disease. *J. Nutr. Biochem.* 2008. 19: 643-654.
- Alvarado-Carrasco C y Guerra M. Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *An. Venez. de Nutr.* 2010. 23: 42-49.
- Muro-Urista C, Álvarez-Fernández R, Riera-Rodríguez F, Arana-Cuenca A y Téllez-Jurado A. Production and functionality of active peptides from milk. *Review. Food Sci. Technol. Int.* 2011. 17:293-317.

Electrocardiógrafo como Herramienta de Aprendizaje: Propuesta Preliminar

Sosa Villaraux Aldo¹, Sandoval González Oscar Osvaldo¹, González Sánchez Blanca Estela¹, Flores Cuautle José De Jesús Agustín²

¹ Maestría en Ingeniería Electrónica, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Ver. México.

² CONACYT, Maestría en Ingeniería Electrónica, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Ver. México.

Recibido: 06 de septiembre de 2017; Aceptado: 18 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

A lo largo de los años el monitoreo de la actividad cardiaca ha adquirido gran relevancia en el ámbito tecnológico ya que se está presentando la necesidad de contar con nuevos equipos que ayuden a la visualización de esta bioseñal. Se han desarrollado diversos sistemas electrónicos de adquisición, procesamiento y transmisión, proporcionando a estudiantes e investigadores una herramienta de apoyo para trabajar con este tipo de señales y así desarrollar aplicaciones para resolver diferentes problemas o facilitar trabajos. Con el avance de la tecnología surgen nuevas ideas de aplicaciones y surge la necesidad de crear una herramienta confiable de adquisición y procesamiento que cumpla con características deseables como seguridad, compatibilidad, portabilidad y asequibilidad para un cómodo desarrollo de proyectos y experimentación. Debido a esto el trabajo presente muestra el desarrollo de un equipo de adquisición y procesamiento de señales electrocardiográficas para su uso como herramienta alternativa a otros equipos o dispositivos de ECG brindando nuevas opciones de manipulación de la señal obtenida y transmisión de los datos obtenidos para su procesamiento en otras plataformas de programación que se acomode a las necesidades específicas de los usuarios.

Palabras clave: Académico, Bipolar, ECG, Puerto Analógico.

Abstract (CBS)

Over the years the monitoring of cardiac activity has acquired great relevance in the technological area since it is presented the necessity to have new equipment to help the visualization of this biosignal. Various electronic acquisition, processing and transmission systems have been developed, providing students and researchers with a support tool to work with this type of signals and to develop applications to solve different problems or facilitate tasks. With the advancement of technology, new application ideas emerge and the need arises to create a reliable acquisition and processing tool that meets desirable characteristics such as security, compatibility, portability and affordability for a comfortable development of projects and experimentation. Due to this, the present work shows the development of an electrocardiographic signal acquisition and processing equipment for use as an alternative tool to other ECG devices or devices, providing new options for manipulation of the obtained signal and transmission of the data obtained for its processing in other programming platforms that fit the needs of individuals.

Keywords: Academic, Analogic Port, Bipolar, ECG.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de equipos de electrocardiografía como herramienta auxiliar en el diagnóstico ha aumentado considerablemente, su uso por parte de estudiantes de electrónica, ingeniería biomédica, medicina o incluso de grupos de investigación cuyos trabajos están relacionados

con el análisis de este tipo de señales va al alza. Sin embargo, dentro del ámbito académico no es común que los estudiantes tengan acceso a este tipo de equipos, por lo cual la habilidad de los estudiantes para manipular este tipo de equipos no es la adecuada, más aún, en los casos más extremos, los estudiantes no están familiarizados con señales reales. Por estas razones es necesario desarrollar equipos de bajo

costo que, aprovechen el uso de equipos de cómputo para poder familiarizar a los estudiantes con las señales reales y de esta forma ayudar al desarrollo de diversas aplicaciones enfocadas en la monitorización, diagnóstico y rehabilitación de personas adquiriendo la actividad eléctrica de sus corazones; permitiendo al mismo tiempo utilizar estos equipos para la capacitación de estudiantes o practicantes médicos mediante a observación de las señales adquiridas.

ELECTROCARDIÓGRAFO Y ELECTROCARDIOGRAMA

La investigación referente a señales bioeléctricas y en especial electrocardiográficas no es nueva, los inicios de este tipo de estudios datan del siglo XIX, con la aparición del electrómetro capilar, después, hacia 1901 cuando W. Einthoven desarrolló el galvanómetro de cuerda, equipo con el cual se pudo hacer el primer registro de electrocardiografía de alta calidad, así inició la carrera del electrocardiógrafo en el mundo, y en la actualidad es una de las herramientas principales de la medicina moderna.

Un electrocardiógrafo (ECG) es una herramienta auxiliar en el diagnóstico, que mide con gran detalle los potenciales eléctricos producidos por el tejido cardíaco durante un latido, mostrando la magnitud y dirección de dicha actividad; generando un registro llamado electrocardiograma (ECG); a pesar de los avances que se han tenido en esta disciplina, los cuales han llevado al origen de equipos que permiten obtener registros de alta calidad o de larga duración, no es menos cierto que se han desarrollado nuevas afecciones en el ser humano, así como el progreso mismo de la tecnología que obliga a enfrentar una nueva serie de retos, los cuales son abordados en este trabajo.

La adquisición de la señal bioeléctrica del corazón se realiza mediante electrodos ubicados en partes específicas del cuerpo humano; el registro obtenido a través de un ECG depende en gran medida de la ubicación de los electrodos, así pues, una incorrecta colocación de los electrodos de registro nos llevaría a obtener señales con información incorrecta, como resultado se crearon localizaciones estándares para la evaluación clínica de un ECG.

A fin de llevar a cabo un registro adecuado del ECG, se debe grabar más de una derivación, tomadas en el plano frontal, para poder describir totalmente la actividad eléctrica del corazón; Einthoven propuso las 3 primeras derivaciones conocidas como derivaciones bipolares I, II y III, en dichas derivaciones la localización de los electrodos es de suma importancia, esto debido a que existe una relación directa entre la señal obtenida y ubicación de los electrodos; estas derivaciones forman un triángulo equilátero que se conoce como triángulo de Einthoven.

Tabla 1. Derivaciones Electrocardiográficas de Einthoven (Left Arm, Right Arm and Left Leg).

Plano	Tipo de Derivación	Ubicación del Electrodo	Definición
Frontal	Bipolares	LA, RA, LL, LR	I= LA-RA II=LL-RA III=LL-LA

EL CORAZÓN Y LA SEÑAL ELECTROCARDIOGRÁFICA

El corazón emite una señal eléctrica con una amplitud del orden de los milivoltios (mV), y se encuentra en un intervalo de entre 0.5mV a 2mV, así mismo la frecuencia de estas señales se encuentra en el rango de 0.05 a 100 Hz.

Para su estudio, la señal eléctrica del corazón suele dividirse o clasificarse en ondas y segmentos y designarse con letras de la P a la U. Las ondas que conforman un ECG son: la "onda P", la cual indica que las aurículas son estimuladas eléctricamente para enviar la sangre hacia los ventrículos. Posteriormente aparece en el ECG el denominado "complejo QRS"; que indica que los ventrículos son estimulados eléctricamente para bombear la sangre hacia fuera. El siguiente segmento corto, aparentemente plano ascendente se llama "segmento ST". Este segmento nos indica el tiempo que transcurre desde el final de una contracción de los ventrículos hasta el comienzo del periodo de reposo. La onda siguiente al "segmento ST" es ascendente la cual es denominada "onda T"; esta muestra el periodo de recuperación de los ventrículos. Las duraciones normales de las ondas P, el complejo QRS y T son: 0.11 segundos, 0.09 segundos, 0.15 segundos respectivamente; lo que origina anchos de banda por segmentos de 9 Hz, 11 Hz y 6.6 Hz.

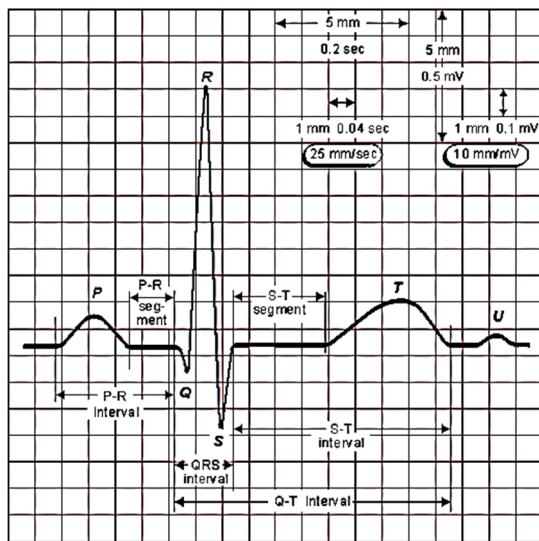


Figura. 1. Gráfica de un ECG típico.

En la práctica, el estudio y familiarización de los estudiantes de ciencias biomédicas con este tipo de señales es muy importante, pues de esta forma podrán visualizar de una mejor manera las anomalías que pueden presentar en una señal de ECG y diferenciarlas de una señal normal; por otro lado, también poder manipular una señal periódica y observar sus cambios.

En el presente trabajo se propone un electrocardiógrafo de bajo costo que pueda ser adaptable a cualquier equipo de cómputo, a fin de servir como una herramienta auxiliar en el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería biomédica y áreas afines.

METODOLOGÍA

El diseño inicial de este trabajo está basado en la configuración propuesta por los fabricantes de circuitos integrados diseñados para instrumentación biomédica. Uno de los aspectos a tener en consideración es la seguridad del paciente ante la interacción con potenciales eléctricos provenientes de la alimentación del circuito propuesto, a fin de disminuir en lo posible los riesgos de corrientes de fuga, se decidió trabajar con una alimentación a baterías. El sistema completo puede dividirse en 3 grandes bloques; se optó por utilizar esta configuración para que el electrocardiógrafo sirva no solo para familiarizarse con la adquisición de señales bioeléctricas, sino al mismo tiempo, para poder introducir a los estudiantes al procesamiento de las mismas.



Figura. 2. Diagrama a bloques del electrocardiógrafo

El primer bloque de la Figura. 2 se refiere a la adquisición de las bioseñales, este bloque a su vez puede ser dividido en los siguientes circuitos: aislamiento, amplificación, retroalimentación (retorno de pierna derecha), filtro pasa altas y amplificador de escalamiento, dichos circuitos pueden apreciarse en la figura siguiente:

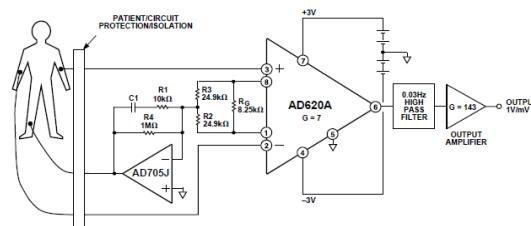


Figura. 3. Circuito de ECG basado en AD620 (Analog Devices®).

Una parte esencial de este trabajo es la digitalización de la señal, para esto se aprovecha el hecho de que en la actualidad cualquier laptop cuenta con una tarjeta de audio con un convertidor analógico digital de al menos 16 bits, por lo cual para hacer más económico este diseño se decidió utilizar esta característica. Como ya se mencionó la digitalización de la señal se hace a través del puerto de audio mediante un programa de adquisición de señales programado en labview.

Finalmente, el tercer bloque se refiere a la manipulación matemática por software, que esencialmente es un procesamiento digital de señales, este bloque tiene por finalidad que el estudiante pueda aplicar la teoría de procesamiento de señales en una señal real y de esta forma poder vincular la teoría con la práctica, en la Figura. 4 y Figura. 5 se pueden observar la tarjeta de adquisición y la pantalla principal del programa para la manipulación de las señales, en donde es posible observar las diferentes opciones que componen esta parte.



Figura. 4. Tarjeta de adquisición de señales.

Cabe resaltar que los diseños analógicos generalmente consumen menos potencia y ocupan menor área en chip que su contraparte digital.

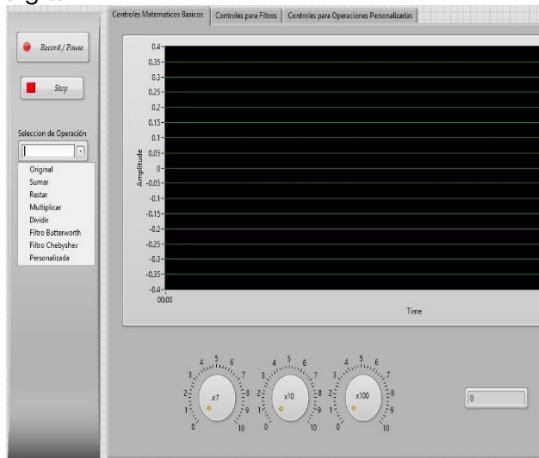


Figura. 5. Despliegue de opciones matemáticas.

CONCLUSIONES

Se espera que el desarrollo de este equipo de electrocardiografía ayude a los estudiantes o investigadores que requieran trabajar con este tipo de señales a obtener resultados confiables sin perder datos de la señal en el momento de la adquisición; la comunicación analógica y la opción de exportar los datos adquiridos cubrirá la necesidad de compatibilidad con diferentes plataformas de programación; ya que podrá trabajar con las paquetes de adquisición de audio o con los archivos en formato .xlsx que se podrán generar; así se permite la libre manipulación de los datos adquiridos y aplicarles filtros o ecuaciones matemáticas que el particular pretenda utilizar en proyectos para diferentes fines. Se podrá trabajar con cualquier equipo de cómputo a disposición que cuente

con un puerto de audio disponible, la visualización de la señal ya no estaría restringida por lo que las aplicaciones de los resultados posibles obtenidos podrían significar un incremento en el desarrollo de proyectos de ECG con visión a un sistema flexible que también permita la comunicación con dispositivos móviles y adquisición de señales electromiográficas superficiales (SEMG).

REFERENCIAS

- Carlos A. Alva, W. R., Joel O. Castillo. (2011). Diseño y Construcción de un Electrocardiógrafo de Bajo Costo. 1. Retrieved from.
- Javier Villamizar, H. A. G. B., Hoover Orozco G. (2011). Electrocardiógrafo Bipolar. *Scientia et Technica Año XVII*, 47, 244-249.
- Jorge Reynolds, L. B., Fabián Cuéllar. (2011). Bioamplificadores. *Revista Colombiana de Cardiología*, 18, 131-143.
- Leonardo Ramírez López, Y. P. R. O., Yuli Paola Cifuentes Sanabria. (2014, Enero - Diciembre). Prototipo de electrocardiógrafo bipolar para uso académico. *Ciencia y poder aéreo*, 9, 115-123.
- M. K. Islam, G. T., T. Ahammad, A. N. M. M. Haque and M. R. H. Khondokar, Member, IACSIT. (2012). Study and Analysis of ECG Signal Using MATLAB & LABVIEW as Effective Tools. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4(3).
- Márquez, F. G. *Electrocardiograma por PC (LabView)*. Universidad de Guadalajara.
- Vladimir Mosquera Cerquera, F. A. T. M. (2010). Adquisición y Procesamiento de la Actividad Eléctrica del Corazón y Cerebro Usando FPAA. [Acquisition and Processing of Heart and Brain Electrical Activity Using FPAA]. *Revista Ingeniería y Región*, 7.

Ejercicios de Reeducación Postural para Aumento de Arco de Movimiento y Disminución del Dolor en Síndrome de Disfunción Temporomandibular

Hernández-Pérez Mariana

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Recibido: 06 de septiembre de 2017; Aceptado: 18 de septiembre de 2017.

Resumen (CBS)

El síndrome de disfunción temporomandibular, constituye un problema de salud importante, pues, afecta a más del 50% de la población mundial en algún momento de su vida. Un síntoma que presentan es dolor por lo que adoptamos una postura inadecuada, el cual dificulta realizar las funciones de la articulación temporomandibular. Se llevó a cabo un estudio cuantitativo, reporte de caso, con un paciente de 40 años con diagnóstico de Síndrome de Disfunción Temporomandibular, se realizó: valoración goniométrica, índice de Latinen, el cuestionario M.F.I, posterior ejercicios de reeducación postural y revaloración por medio de Análisis biomecánico cráneo cervical a través de una tele radiografía. Los hallazgos fueron importantes, ya que después de finalizar el tratamiento el paciente había mejorado en su sintomatología , postura, rango de movimiento de columna cervical también datos importantes como los que arrojaron el análisis cráneo- vertebral para poder comprobar medir y sustentar parte de la mejoría obtenida. Podemos concluir que terapia física es parte fundamental en este tipo de trastornos de la articulación aunque al igual ser tratado por un equipo multidisciplinario.

Palabras clave: Síndrome de Disfunción Temporomandibular, Análisis Biomecánico, Reeducación Postural.

Abstract (CBS)

The temporomandibular joint dysfunction syndrome, constitutes an important health problem, affecting more than 50% of the world population at some point in their lives. A symptom is pain so that we adopt a poor posture, which makes it difficult to perform the functions of the TMJ. There was a quantitative study with a sample of a patient of 40 years referred by the dentist performed an assessment at the beginning of the research where Latinen goniometria, index, the questionnaire M.F.I, for one month were applied postural re-education exercises to verify their effectiveness at the end of the valuation and the biomechanical analysis of cervical skull through a tele x-ray. The findings were important, since after the end of the treatment, the patient had improved in their symptoms, posture, range of motion of the cervical spine also important data such as those that threw the skull- spinal cord to check measure and sustain part of the improvement obtained. We can conclude that physical therapy is a fundamental part in this type of joint disorders although like be treated by a multidisciplinary team.

Keywords: Temporomandibular Dysfunction Syndrome, Biomechanical Analysis, Postural Reeducation.

INTRODUCCIÓN

La disfunción temporomandibular (DTM) es un problema muy frecuente, aproximadamente entre el 70 y 90% de la población general tiene al menos un signo clínico de esta disfunción y ha demostrado ser una causa importante de ausentismo laboral y de disminución de la productividad en el trabajo afectando principalmente a las mujeres entre edades de 25-35, la finalidad de la fisioterapia es restablecer la función normal del complejo articular de la articulación temporomandibular ATM, la

morfología y el aspecto estético de la cara y el cuello, el equilibrio de los músculos que intervienen en la movilidad de la cara, lengua, mandíbula y columna, mostrando la importancia de su papel en el abordaje de esta disfunción.

METODOLOGÍA A DESARROLLAR

El presente estudio tiene un enfoque mixto, prospectivo, longitudinal y cuasi experimental. El estudio se llevó a cabo desde el 24 de febrero hasta el 24 de abril, la aplicación del tratamiento tuvo una duración de 3 semanas con el paciente

del municipio de Mineral de la Reforma del Estado de Hidalgo. Se aplicaron 21 sesiones 7 veces a la semana de 20 minutos, basada en Reeducación postural, se le realizó: historia clínica , la valoración del dolor con los test y escalas y así mismo la medición de los arcos de movimiento de la columna cervical, así como: radiografía lateral de cráneo para la obtención de diagnóstico cráneo-vertebral pre y post tratamiento.

Para llevar a cabo la recolección de datos. Se propone utilizar como base el instrumento denominado Índice de Lattinen para la evaluación del paciente con dolor crónico, es una herramienta muy utilizada para la evaluación del dolor en el mundo hispanoparlante cuenta con 5 ítems los cuales son:-intensidad del dolor, -frecuencia del dolor, consumo de analgésicos, grado de incapacidad. Los cuales puntúan de 0 a 4, tiene un coeficiente alfa >0.7. Análisis biomecánico cráneo cervical a través de una tele radiografía lateral, así como el instrumento denominado Mandibular Function Impairment Questionnaire para la evaluación del funcionamiento de la mandíbula en un estudio La traducción y validación de una versión china del Cuestionario Deterioro de la función mandibular.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se realizó la estadística inferencial y descriptiva en donde se utilizó Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) para la estadística. El análisis de los datos se realizará de manera descriptiva..

La siguiente tabla muestra lo grados que obtuvo el paciente de acuerdo a los movimientos normales de la columna cervical antes y después de la aplicación del tratamiento.

Tabla 1. Movimiento de la columna cervical antes y después del tratamiento

Movimiento	Pre	Post
Flexión	30°	42°
Extensión	38°	40°
Rotación izquierda	50°	55°
Rotación derecha	48°	53°
Lateralización derecha	35°	39°
Lateralización izquierda	34°	37°

En la siguiente tabla se muestra la puntuación total obtenida después de aplicar el cuestionario de Lattinen

Tabla 2. Puntuación Cuestionario Lattinen.

Puntuación inicial	Puntuación final
15	10

También utilizamos el Mandibular Function Impairment Questionnaire, el cual la puntuación total fue de la siguiente manera.

Tabla 3. Puntuación Cuestionario M:F:I:Q

Puntuación total	pre	post
[0-17) Mild		
[17-34) Moderate		Puntuación obtenida
[34-51) Serious	Puntuación obtenida	
[51-68) Very Serious		

RESULTADOS

En el cuadro de la Tabla 4 se muestra una comparativa de los resultados antes y después del tratamiento por medio de una radiografía lateral de cráneo.

Tabla 4. Cuadro comparativo del Diagnóstico Cráneo – Vertebral.

Media	Norma clínica	Paciente Pre tratamiento	Interpretación	Paciente post tratamiento
Angulo cráneo-vertebral	96°106°	95°	Rotación posterior exagerada de cráneo, provoca disminución del espacio suboccipital asociado a algias faciales, tensión hioidea asociada al descenso de la lengua del piso de la boca causa alteraciones en la deglución	99°
C0-C1	6mm	3mm	Compresión mecánica suboccipital, acortamiento del lig. Nucal, limitación movimiento de flexión	5mm
C1-C2	6.5 mm	4mm	probable neuropatía mecánica	5mm
AA	.5mm-5mm	1mm	Punto más alto del cuerpo del atlas	1.5mm
PLANO BASILAR	angente al borde posterior de odontoides	Casi es tangente al borde posterior de la apófisis odontoides	Inestabilidad del cráneo sobre la columna superior comprometida	No es tangente al borde posterior de la apófisis odontoides
PUNTO H	mm +/-2mm	4mm	Antero posición de la columna vertebral Pequeñas variaciones de la posición craneal inducen discrepancias importantes en esos planos, que pueden provocar errores en la medición de la posición del hioideo; esto es obviadas al utilizar el método del triángulo hioideo	12mm



Imagen 1. Radiografía antes del tratamiento.



Imagen 2. Radiografía después del tratamiento.

CONCLUSIONES

La investigación sobre los ejercicios de reeducación postural disminuirían el dolor y así mejorarían la postura aspectos han permitido una descripción más precisa de su patología, permitiendo incluso la definición y entendimiento de la patología.

Dada la documentada bibliografía que justifica la estrecha relación entre alteraciones posturales y trastornos temporomandibulares, consideramos que la reeducación postural del paciente debe ser considerado un paso más dentro del plan terapéutico complementando otras técnicas de fisioterapia.

ABREVIATURAS

OA: Distancia entre la base del hueso occipital y el arco posterior del atlas.

AA: Punto más anterior del arco anterior del atlas.

H: (Hyoidale). El punto más anterior y superior del cuerpo del hueso hioideo.

RGN: (Retrognathia). Punto más posterior e inferior de la sínfisis mandibular, determinado por la bisectriz al margen posterior e inferior de la sínfisis o el punto más cercano desde el hueso hioideo al margen posterior de la sínfisis mentoniana.

MGP: (Plano de McGregor): Trazo que va desde ENP a la base del occipital.

OP: (Plano odontoideo). Línea que une el margen anteroinferior del cuerpo del axis, al ápice del proceso odontoides.

PH: (Plano hioideo). Plano formado desde H y la tangente a los cuernos posteriores del hueso hioideo.

REFERENCIAS

- Leidy Johanna Valencia Alzate. (2007). Alteraciones de la ATM. 14 de noviembre, de Efisioterapia Sitio web: <https://www.efisioterapia.net/articulos/alteracion-es-la-articulacion-temporomandibular>
- Ash. M. Major, Hijo. (2000). Articulación temporomandibular dientes músculos y sus funciones. En Anatomía dental fisiología y oclusión de Wheeler(379-403). Mexico Df: Panamericana.
- Arellano, J.C.V.. (2002). Relações entre postura corporal e sistema estomatognático.. Oclus. ATM Dor Orofac, 2, 64-155.
- Huggare, J. A., & Raustia, A. M. (1992). Head posture and cervicovertebral and Craniofacial morphology in patients with craniomandibular dysfunction. . 10 de julio, de PubMed Cranio Sitio web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1423679>
- Kapandji. (2002). Fisiología Articular Tronco y Raquis. Madrid: Panamericana.
- Piekartz, H. V., & Linn, B. (2003). dolor y Disfunción Craneofacial: terapia manual, valoración y tratamiento. Madrid: Mc Graw Hill..
- Richard S. Snell. (septima edición). Medula espinal y vías ascendentes y descendentes. En Neuroanatomía Clínica (144-148). España: Wolters Kluwer.
- Montserrat Palacin. (1997). la reeducación global de Philippe Souchard: puntos de ruptura con la fisioterapia clásica. Dialnet,, 45, 1-6.
- Pedro Ángel Peñón Vivas, Ileana Grau León, Humberto Sarracent Pérez. (2011). Caracterización clínica del síndrome de disfunción temporomandibular en el Hospital Universitario "Miguel Enríquez". Revista Cubana de Estomatología, 4, 4.

Sistema de Telemetría para una Red de Celdas Fotovoltaicas Instaladas en Invernadero Agrícola

Granados-Pastrana Oswaldo Josue, Pérez-Pérez Eucario, Téllez-Jurado Alejandro, Ramos-Fernández Julio, Luna-Cruz David, Cervantes-Camacho Ilse, Robles-Camarillo Daniel

Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Recibido: 07 de agosto de 2017; Aceptado: 15 de septiembre de 2017.

Resumen (CCCF)

En el presente artículo se describe el diseño e implementación de un sistema electrónico de telemetría para una red de celdas fotovoltaicas, como parte un invernadero autosustentable destinado a la investigación de cultivos de interés agrícola. Se ha desarrollado una tarjeta de adquisición de datos con componentes electrónicos comerciales, que permiten el monitoreo automático de la energía eléctrica generada por la celda y la energía consumida al interior del invernadero. La información del sistema eléctrico es procesada y almacenada en un servidor embebido, permitiendo que la información pueda ser consultada y/o descargada de forma remota a través de internet. Las pruebas de comparación entre de los datos adquiridos con el presente sistema y las lecturas de un multímetro comercial, muestran una variación en la potencia consumida y generada del 1%. El servicio y disponibilidad de la información se probó haciendo consultas y descargas desde la página web en distintos horarios y lugares sin registro de error, probando la funcionalidad del sistema desarrollado.

Palabras clave: Energía Renovable, Internet de las Cosas, Monitoreo Remoto, Telemetría Invernadero.

Abstract (CCCF)

This article describes the design and implementation of an electronic telemetry system for a network of photovoltaic cells, as part of a self - sustaining greenhouse for the research of crops of agricultural interest. A data acquisition card with commercial electronic components has been developed, which allows the automatic monitoring of the electrical energy generated by the cell and the energy consumed inside the greenhouse. The information of the electrical system is processed and stored in an embedded server, allowing the information to be consulted and / or downloaded remotely through the internet. The comparison tests between the data acquired with the present system and the readings of a commercial multimeter show a variation in the power consumed and generated of 1%. The service and availability of information was tested by querying and downloading from the website at different times and places without error log, proving the functionality of the system developed.

Key words: Internet of Things, Remote Monitoring, Renewable Energy, Telemetry in Greenhouse.

INTRODUCCIÓN

Como lo analizó (Cristaldi, 2012), para cumplir con el Protocolo de Kioto, la Unión Europea aprobó un acuerdo que establece como objetivo para el 2020, la reducción del 20% de los gases de efecto invernadero mediante el aumento en la instalación de fuentes de energía renovables y la eficiencia energética. Para lograr los objetivos, se han definido estrategias y políticas para incentivar la eficiencia en el uso de la energía y la expansión de fuentes renovables, en particular los sistemas fotovoltaicos y eólicos.

En la actualidad, las operaciones agrícolas tienen que adaptarse a un entorno más

competitivo y por consiguiente utilizar tecnologías inteligentes. Un sistema de producción sostenible de cultivos requiere mantener una cosecha de alta calidad, manteniendo bajos el consumo de energía y materias primas. El sector agrícola es un importante consumidor de energía eléctrica total generada. El aumento de la demanda de energía en la producción agrícola de invernadero ha hecho que su uso, administración y estimación sean cuestiones esenciales. Los agricultores tienen una opción para reducir el consumo de energía invirtiendo en sistemas inteligentes (Trejo Perea, 2009).

La radiación solar es uno de los recursos de energía renovable más factibles para aprovechar, aunque la baja densidad de potencia es un factor que caracteriza a la generación de energía fotovoltaica (watts por metros cuadrado) ya que cuenta con una baja eficiencia de conversión de energía, según algunos autores (Cristaldi, 2011).

Por otro lado, el cómputo en la nube (cloud computing) y el Internet de las cosas (IoT, internet of things, por sus siglas en inglés) son dos de los más destacados y populares paradigmas que se espera formen la siguiente era de la computación.

El modelo IoT se basa en la identificación y el uso de un gran número de objetos físicos y virtuales, que están conectados a Internet y permite la comunicación entre ellos. Otro aspecto común de las aplicaciones de IoT, es que muchas de ellas implican funciones de control y supervisión, en las que no se requieren acciones humanas en su ciclo. Así mismo, el cómputo en la nube realiza y promueve la entrega de recursos de hardware y software a través de Internet (Suciu, 2014).

La presente propuesta explica un sistema de información y comunicación para monitorear la cantidad de energía producida por una celda fotovoltaica y la energía consumida por los distintos elementos eléctricos del invernadero agrícola para poder realizar un análisis comparativo de los datos, que permita tomar decisiones para optimizar el consumo eléctrico. Las características del prototipo proporcionan una forma distinta a la minería trivial de los datos de los sensores y como consecuencia, el sistema tiene potencial para hacer coincidir aplicaciones ambientales y desafíos que están relacionados con el IoT.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada en el desarrollo del sistema de telemetría para el IoT en el invernadero es Prototipado Evolutivo (Zachman, 1999), en el que se desarrolla el concepto del sistema a medida que avanza el proyecto y consta de las siguientes etapas.

Planeación y análisis

En esta etapa se realiza el análisis de las características de la tarjeta electrónica principal

para encontrar una que pueda adaptarse a las necesidades del proyecto.

La computadora Raspberry Pi es de muy bajo costo, completamente silenciosa y es del tamaño de una tarjeta de crédito.

El sistema operativo funciona desde una tarjeta flash SD, permitiendo que su personalidad cambie instantáneamente al intercambiar la tarjeta, adicionalmente con esta característica, la descarga de los datos almacenados en la memoria se torna muy versátil. En trabajos previos (Jaseman, May 2012), se menciona que su potencial es asombroso especialmente útil para los profesionales de tecnologías de la información (TI) y los expertos en electrónica.

Por esto, la Raspberry Pi fue la tarjeta electrónica elegida, en ella se encuentra embebido el sistema de telemetría y es la encargada de almacenar, procesar y transmitir toda la información relacionada con la energía que en la micro red del invernadero agrícola se utiliza (generada y consumida).

Diseño

La arquitectura que compone todo el sistema se muestra en la figura 1 en donde se puede identificar dos principales etapas: a) La micro red que suministra energía al invernadero agrícola, está constituida por 6 celdas fotovoltaicas de 100w, 4 baterías de plomo de $100A \cdot H$ y un inversor de CD a CA y b) El sistema de telemetría compuesto por una tarjeta Raspberry con un servidor instalado y los códigos necesarios para el procesamiento y transmisión de la información, una tarjeta electrónica para adquisición de datos y un servidor espejo con una IP pública asignada.

La tarjeta para adquisición de datos se diseñó con componentes electrónicos comerciales que se muestran en la tabla 1, para monitorear el voltaje y la corriente y así poder calcular la potencia generada y consumida en la micro red del invernadero agrícola.

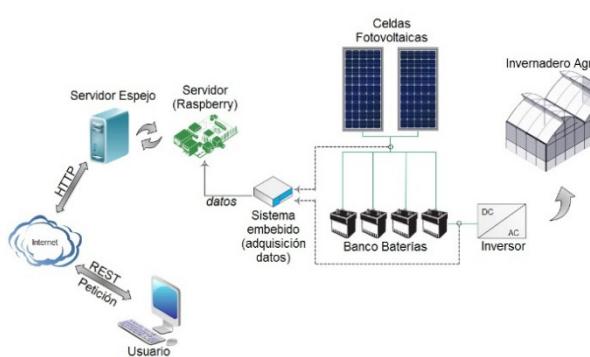


Figura 1. Descripción grafica de la red fotovoltaica alimentando el invernadero agrícola junto al Sistema de monitoreo de la energía generada y consumida.

Construcción del prototipo

La figura 2 muestra una imagen real de la construcción del sistema embebido para adquisición de datos, el convertidor Analógico-Digital MCP3008 (ver figura 2, bloque B) combina alto rendimiento y baja potencia de consumo en un encapsulado pequeño, haciéndolo ideal para aplicaciones de sistemas embebidos (MicroChip, 1998-2017), como lo es el sistema de telemetría desarrollado en este trabajo. Las aplicaciones de este chip incluyen adquisición de datos, instrumentación y medición, sensores inteligentes, registradores de datos multicanal, entre otros.

Tabla 1. Lista de componentes para tarjeta de adquisición de datos.

Componentes	Descripción
MCP3008	Convertidor Analógico-Digital de 10 bits de resolución, 8 canales de entrada y con un rango de temperatura de trabajo de -40°C hasta +85°C.
ACS712	Sensor de CA y CD con un error total de 1.5% a $T_A = 25^\circ\text{C}$ y voltaje de operación de 5.0v (ver figura 2, bloque C).
Sensor de Voltaje	Divisores de tensión. Las resistencias pueden variar según el voltaje máximo medido (ver figura 2, bloque D).

El convertidor tiene una velocidad de hasta 200k muestras/segundo que lo hace ideal para este sistema, ya que las señales de potencia monitoreadas en la micro red no son tan cambiantes con respecto al tiempo. Por otro

lado, los datos leídos por el chip son transmitidos hacia la tarjeta principal de procesamiento de la información (Raspberry Pi) por medio de sus puertos de entrada y salida (GPIO, General Purpose Input Output, por sus siglas en inglés) que se pueden observar en la figura 2 bloque A, utilizando un protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), otorgando la ventaja de poder realizar la recepción y envío de la información obtenida por los diversos sensores a una velocidad considerable y sin tener la necesidad de utilizar una gran cantidad de GPIO de la Raspberry Pi.

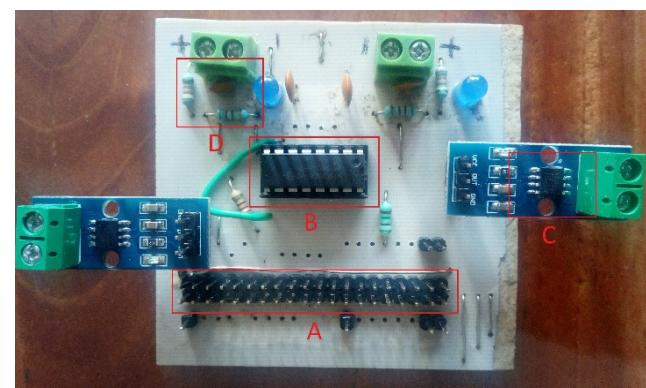


Figura 2. Tarjeta electrónica para la adquisición de los datos de potencia eléctrica en la micro red.

Con relación al software, se diseñaron algunos códigos, siendo necesarias algunas herramientas que se detallan en la tabla 2. Por un lado, está la programación para realizar la adquisición y procesamiento de los datos sobre la energía eléctrica de la micro red del invernadero agrícola y por otra parte están los códigos y configuraciones necesarias para el almacenamiento, visualización y descarga en la página web, de estos mismos datos de energía, con lo cual se introduce este sistema hacia el concepto de IoT.

Tabla 2. Lista de componentes para tarjeta de adquisición de datos.

Herramienta	Descripción
Apache.	Apache es un servidor web flexible, rápido y eficiente, continuamente actualizado y adaptado a los nuevos protocolos HTTP (Support Apache, 2017).
Lenguajes para Servicios Web (PHP, JS, HTML).	Estos servicios proporcionan mecanismos de comunicación estándares entre diferentes

Gestor de Bases de Datos (MySQL).	aplicaciones, que interactúan entre sí para presentar información dinámica al usuario (W3C , 2016).
Lenguaje de programación Python.	Es la base de datos de código abierto más popular del mundo. Con su probado rendimiento, fiabilidad y facilidad de uso, MySQL se ha convertido en la elección de bases de datos líder para aplicaciones basadas en web (MySQL, 2017).
HTTP, REST, TCP/IP	Python es un poderoso lenguaje de programación de fácil uso (fácil lectura y escritura) y con la Raspberry Pi permite conectar el proyecto al mundo real (Python, 2015). Además de software para navegación, un equipo conectado a internet debe contar con protocolos de comunicación como HTTP, REST y TCP/IP para que sea posible la interacción entre los usuarios y la red de redes (World Wide Web) (Estrada, 2004).

La primera etapa se trata de la programación en lenguaje Python, con el cual se realizan los códigos necesarios para la lectura y procesamiento de los datos de los sensores (voltaje y corriente). Los sensores arrojan valores de voltaje entre 0v y 5v que son directamente proporcionales a las cantidades reales de voltaje y corriente generadas en la micro red, por lo tanto, con la ayuda de Python, se realizaron todas las operaciones necesarias para poder obtener las cantidades reales de consumo y generación de energía.

LAMP es un acrónimo que combina tecnologías como son: Linux, Apache, MySQL, PHP y es usada principalmente para definir la estructura de un servidor web. En la Raspberry Pi está instalado y configurado un servidor de este tipo, el cual otorga diversas herramientas, entre ellas la creación de la base de datos para poder almacenar los valores leídos por los sensores.

Después de calibrar los sensores y obtener las lecturas reales, se procede a el almacenamiento de los datos por medio de la combinación de códigos en Python y comandos MySQL que se vuelve posible gracias al módulo llamado "mysql.connector" y al igual que el servidor web, este módulo debe ser instalado en la Raspberry Pi.

Además del almacenamiento en la base de datos, otro de los principales objetivos del sistema aquí desarrollado es poder visualizar y descargar la información alojada en la base de datos de manera remota realizando las diversas

peticiones con ayuda del servidor apache a través de una página web desde cualquier punto con conexión a internet. Para poder realizar este tipo de conexión es necesario contar con una IP de dominio público y que en este caso no fue posible asignar directamente al servidor instalado en la Raspberry Pi, ya que la tarjeta se encuentra en el invernadero agrícola y está conectada a una de las subredes de la Universidad Politécnica de Pachuca. Por lo tanto, se instaló en el departamento de sistemas un servidor al que le fue asignada la IP pública antes mencionada y posteriormente se configuró como servidor espejo (ver figura 1), teniendo un servicio web exactamente igual al que se tiene en la Raspberry Pi, de esta manera resulta muy cómodo poder acceder al servicio web de la tarjeta electrónica sin la necesidad de asignarle directamente una IP pública.

Por último, se realizó la programación de la página web que permite al usuario visualizar y descargar todos los datos almacenados en la base de datos de la Raspberry Pi. La gestión de los datos se realiza a través de programación en lenguaje Java Script para el lado del cliente y con PHP combinado con comandos MySQL para el lado del servidor; este último es el encargado de realizar las peticiones al servidor para que se comunique con la base de datos y extraiga los datos requeridos por el usuario para que dichos datos con la ayuda de Java Script sean mostrados mediante gráficas en la página web. Existe también un apartado que con los mismos lenguajes de programación hace posible la descarga de los datos solicitados por fecha de creación para que el usuario pueda realizar el análisis de los datos en otro programa, si así lo requiere.

Producto

El último paso de la metodología aplicada para el desarrollo de este trabajo, se describe de mejor manera en la siguiente sección "Resultados y Discusión" ya que en dicha sección se muestran los resultados de las pruebas realizadas para comprobar la funcionalidad del producto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo fue instalado y probado en el invernadero agrícola simulando riego con una bomba de agua de 1 / 4 HP, se colocó al mismo tiempo un multímetro para medir las mismas

variables y así poder comparar la eficiencia de este sistema contra uno comercial, proporcionando resultados muy positivos, ya que la variación fue menor al 1%, la figura 3 muestra los datos de consumo de la bomba de riego en un horario nocturno (cuando las celdas fotovoltaicas no generaban potencia) con un tiempo de muestreo de aproximadamente 13 segundos durante un periodo de 1 hora.

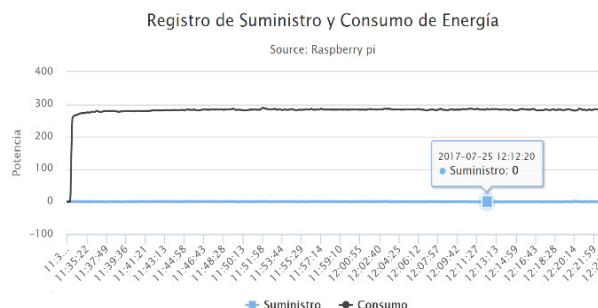


Figura 3. Consumo de energía de bomba riego (1 hora).

Al realizar estas pruebas, fue posible visualizar el comportamiento de la energía consumida en la micro red del invernadero agrícola y aplicando la ecuación (1) se pudo determinar la potencia consumida por el inversor monofásico, encargado de la conversión CD a CA.

$$P_{inv} = P_{total} - P_{bomba} \quad (1)$$

donde, P_{inv} es la potencia que consume el inversor, P_{total} es la potencia que se consume en la micro red y se encuentra disponible en la base de datos y $P_{bomba} = 187\text{watts}$ ya que la potencia de la bomba es un valor establecido. La figura 4 muestra los datos de consumo de la bomba comparados con los de generación de energía de las celdas fotovoltaicas en un periodo de 1 hora y tiempo de muestreo igual a 13 segundos, aproximadamente. Estos datos indican que la potencia que se generó en el lapso de una hora, es casi 1 / 3 de la energía que se consume en la micro red por lo tanto si el ciclo de carga y descarga continua su comportamiento de esta manera, llegará un punto en el que el banco de baterías quede sin carga y la energía generada no sea suficiente para abastecer la bomba de agua lo que representa un riesgo para el cultivo dentro del invernadero. Gracias a estos datos es posible tomar las medidas necesarias ante situaciones críticas como la ya mencionada.

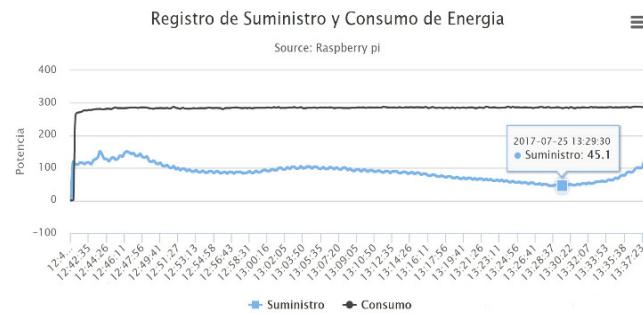


Figura 4. Consumo contra generación de energía.

Las gráficas anteriores fueron consultadas en la página de internet en distintos horarios y lugares, sin presentar ningún tipo de problemas con las diversas consultas, así mismo se realizó la descarga de los datos que se muestran en la figura 5. Esta prueba se realizó con la finalidad de comparar los datos que se descargan contra los datos que se grafican en la página web y comprobar que realmente en la página se grafican correctamente los datos de la potencia consumida y generada en la micro red del invernadero agrícola. Los resultados fueron exitosos, ya que la gráfica de la figura 4 y la gráfica de la figura 5 son iguales, lo que indica que efectivamente las gráficas que se despliegan en la página web corresponden a los datos que el usuario consulta.

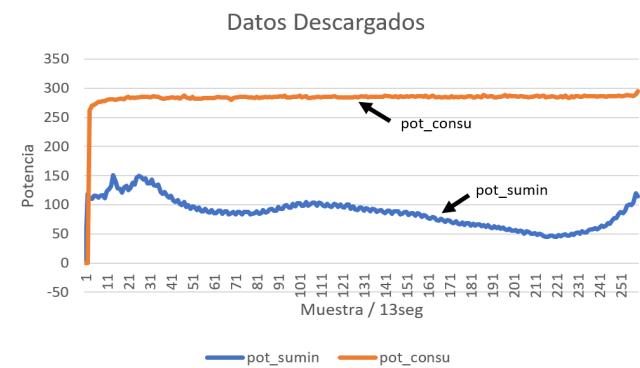


Figura 5. Datos descargados de la página de internet y graficados en software Excel.

CONCLUSIÓN

Los procesos productivos en los invernaderos requieren de distintas fuentes de energía, siendo una de ellas la eléctrica. Cada vez es más

importante su uso racional, debido a la necesidad de optimizar los recursos naturales disponibles. El incremento en la implementación de sistemas eléctricos alimentados con energías renovables requiere de sistemas de almacenamiento confiable.

Se diseñó e implementó un sistema de supervisión de energía para el invernadero agrícola ubicado en la Universidad Politécnica de Pachuca, en el que se encuentra instalada una micro red de celdas fotovoltaicas con su respectivo banco de baterías que es la encargada de suministrar energía a los distintos actuadores o bombas dentro del invernadero. Resulta conveniente que el consumidor final se transforme en un agente activo capaz de tomar decisiones que le permitan racionalizar de forma eficaz el consumo de energía eléctrica, así como también evitar cortes inesperados de la corriente en él invernadero, estos factores influyeron en la creación del presente proyecto. Como trabajo futuro y para complementar este sistema se podría implementar un sistema de control autónomo que ayude a la administración de la energía.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Cristaldi, L., Faifer, M., Rossi, M., & Ponci, F. (2011). Monitoring of a PV system: The role of the panel model. En *Applied Measurements for Power Systems (AMPS)* (págs. 90-95). 2011 IEEE International Workshop on.
- Cristaldi, L., Faifer, M., Rossi, M., & Ponci, F. (2012). A simple photovoltaic panel model: Characterization procedure and evaluation of the role of environmental measurements. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 61(10), 2632-2641.
- Estrada, A. (2004). Protocolos TCP/IP de Internet. *Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. Revista Digital Universitaria*.
- Jaseman, & Meltwater. (May 2012). The MagPi a Magazine for Raspberry Pi Users. *The MagPi*.
- MicroChip. (1998-2017). (Microchip Technology Inc.) Recuperado el 16 de 07 de 2017, de <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP3008>
- MySQL. (2017). (MySQL.com) Recuperado el 07 de 2017, de <https://www.mysql.com/about>
- Python. (2015). (Raspberry Pi Foundation) Recuperado el 07 de 2017, de <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/python>
- Suciú, G., Suciu, V., & Fratu, O. (2014). Big Data Processing for E-Health Applications using a Decentralized Cloud M2M System. *Latest Trends on Systems*, 2, 588-593.
- Support Apache. (2017). (The Apache Software Foundation) Recuperado el 07 de 2017, de <http://www.apache.org/>
- Trejo Perea, M., Herrera Ruiz, G., Ríos Moreno, J., Miranda, R., & Rivasaraiza, E. (2009). Greenhouse energy consumption prediction using neural networks models. *training*, 2.
- W3C. (2016). (W3C España) Recuperado el 07 de 2017, de <http://www.w3c.es/>
- Zachman, J. (1999). El modelado de las empresas: la arquitectura de Zachman. *Estados Unidos: Zachman Institute*.

Sistema Inteligente para Validar una Lista de Control de Acceso (ACL) en una Red de Comunicaciones

Hernandez Talhia, Salazar Pedro, Soto Saul

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, México.

Recibido: 29 de agosto de 2017; Aceptado: 15 de septiembre de 2017

Resumen (CCCF)

La protección y prevención de la seguridad en redes de comunicación requiere de un método cuidadoso, realista y preventivo en toda organización. Por lo que, los profesionales en el área de administración de redes de comunicaciones deben utilizar nuevas herramientas tecnológicas basadas en estándares nacionales e internacionales que ayuden a mantener la seguridad informática. El estándar internacional ISO 27002 trata los distintos criterios para las buenas prácticas que ayuden a mejorar la gestión de seguridad de la información en las organizaciones, con base en la implementación de un conjunto adecuado de controles. Las listas de control de acceso (ACL) son un tipo de control que ayuda a definir permisos o accesos según las políticas de seguridad establecidas por la organización y gestionadas por el administrador de la red de comunicaciones. Por lo anterior, el presente artículo describe el diseño de un sistema inteligente para validar la estructura de una ACL que controle accesos, como lo establece la norma ISO 27002; con la finalidad de que, los expertos en el área lo utilicen como herramienta para la aplicación de las buenas prácticas. Considerando una metodología que consta de las siguientes fases: identificación del problema, identificación de conceptos y datos, adquisición del conocimiento y representación del conocimiento.

Palabras clave: Sistema Inteligente, Norma ISO, Seguridad Informática.

Abstract (CCCF)

The protection and prevention of security in communication networks requires a careful, realistic and preventive method in any organization. Therefore, professionals in the area of communications network management must use new technological tools based on national and international standards that help maintain computer security. The international standard ISO 27002 addresses the different criteria for good practices that help improve the management of information security in organizations, based on the implementation of an adequate set of controls. Access control lists (ACLs) are a type of control that helps define permissions or access according to the security policies established by the organization and managed by the administrator of the communications network. For the above, the present article describes the design of an intelligent system to validate the structure of an ACL that controls accesses, as established by the ISO 27002 standard; With the aim that the experts in the area use it as a tool for the application of good practices. Considering a methodology that consists of the following phases: identification of the problem, identification of concepts and data, acquisition of knowledge and representation of knowledge.

Key words: Intelligent System, ISO Standard, Computer Security.

INTRODUCCIÓN

Con base en estudios realizados en el año 2016 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (UIT, 2016), se ha identificado que la tasa de penetración del internet corresponde al 81% en los países desarrollados, 40% en los países en desarrollo y 15% en los países menos adelantados y que el acceso a la información a

través de la banda ancha puede ser factor importante para el desarrollo sostenible en el mundo.

A medida que el comercio electrónico y el uso de aplicaciones web sigan creciendo, será difícil encontrar el equilibrio entre estar aislado o abierto a la red de comunicación mundial, internet. Asimismo, la apertura de las redes inalámbricas exige soluciones de seguridad perfectamente integradas, más transparentes y flexibles.

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha creado la ISO 27002 (Omella, 2014), con enfoque en la “gestión de seguridad de la información mediante la aplicación de controles óptimos a las necesidades de las organizaciones”; por lo que, las Listas de Control de Acceso (ACL) son una alternativa para el control sobre la seguridad en una red de cómputo (Uhig, 2013), pero resulta abundante el número de combinaciones posibles que pueden declararse en la entrada o salida de una red, el protocolo, el puerto o servicio que se desea denegar o permitir.

Una ACL es una configuración de router que permite o deniega paquetes según el criterio encontrado en el encabezado del mismo, comúnmente utilizadas en el IOS de Cisco para seleccionar los tipos de tráfico por analizar, reenviar o procesar.

Por lo anterior, el presente artículo da a conocer el diseño de un sistema inteligente con base en experiencias y conocimientos de los administradores de redes de comunicación, para prevenir los accesos no autorizados; utilizando mecanismos conforme a lo que establece la norma ISO 27002, y con ello realizar actividades de fomento y promoción de las buenas prácticas para la aplicación de controles para la seguridad de la información.

El sistema inteligente valida la estructura de una ACL estándar considerando los siguientes datos: Nombre, Acción (Permitir/ Denegar), Dirección IP (Internet Protocol), Protocolo o Servicio; los cuales son definidos en la configuración del router. La metodología general de diseño del sistema inteligente se basa en las etapas de (Amador, 1996): identificación del problema, identificación de conceptos y datos, adquisición del conocimiento, representación del conocimiento.

ESTADO DEL ARTE

La seguridad de la información hoy en día en las organizaciones públicas y privadas es un punto de atención (Information Security Journal, 2010), además impacta al desempeño e imagen de la misma a partir de verse afectada por ataques de seguridad, esto repercute de forma directa a las operaciones del día a día y del grado de competitividad dentro del sector de mercado al que pertenece. En la iniciativa privada, con el propósito de ayudar a las organizaciones en cómo prevenir ataques de seguridad que

afecten su infraestructura, aplicaciones y servicios, existen distintos estándares a nivel internacional; sin embargo, uno de los más importantes es el creado por la Organización de Estándares Internacionales (ISO). La norma ISO 27002 (Disterer, 2013) está teniendo año con año mayor grado de reconocimiento y adopción; por ser un lenguaje común de las organizaciones a lo largo de todo el mundo para la seguridad de información (Humphreys, 2011).

La versión 2013 de esta norma (ISO 27001, 2017), trata acerca de la continuidad de la seguridad de la información embebida en un “Sistema de Gestión de Continuidad de los Negocios (SGCN)”, estableciendo en la cláusula 9 “Control de Acceso: los requisitos de la organización para controlar el acceso a los activos de información deben estar claramente documentados en una política y procedimientos de control de acceso”. Para ello, la propuesta de implementación de un sistema inteligente (Harmon, 1988) en la organización, ayuda a las personas en el análisis de problemas y la toma de decisiones para el diagnóstico del nivel de seguridad otorgado por un procedimiento de control de acceso con mayor rapidez y eficacia, como si lo hiciera un humano experto en el área.

En el año 2011 investigadores de la Universidad Interamericana de Puerto Rico (Cruz, 2011), realizaron una investigación para determinar si los sistemas inteligentes son una solución viable para identificar y prevenir las vulnerabilidades y riesgos en los sistemas de información de las organizaciones, basándose en 8 elementos para desarrollarlo: organización, planificación, inventario, operaciones, desarrollo y mantenimiento, bitácoras, planificación de contingencias, seguridad; como resultado, se comprobó la hipótesis “los sistemas inteligentes son viables para identificar y prevenir vulnerabilidades”. Sin embargo, está ausente la adopción de una norma o estándar que establezca requisitos para la implementación de las buenas prácticas en temas de seguridad informática.

Diseño del sistema inteligente para validar la estructura de una ACL

Con base en una metodología de diseño de sistemas inteligentes, se han considerado algunas etapas, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Etapas para el diseño del sistema inteligente.

Para cada etapa se desarrollaron actividades específicas, descritas a continuación.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A lo largo de los últimos años se ha visto un incremento en los ataques a las organizaciones, por ejemplo, en el primer trimestre del año 2016 se realizó el mayor ataque de negación de servicio (Gulisano, 2015) (DDoS) “attacks aim at rapidly exhausting the communication and computational power of a network target by flooding it with large volumes of malicious traffic”, con un record de 500 Gbps según la firma ARBOR Networks, líder en la solución en ataques este tipo, (Annual Security Report, 2016) en su 11º Informe Anual de Infraestructura de Seguridad en todo el mundo, asegura que esto no es un sorpresa, ya que se observa una tendencia de incremento en un 60%; además de resaltar que el 93% de estos ataques se orientan a la capa de aplicación, señalada como una de las siete capas en Modelo de Interconexión de Sistemas Abierto (OSI) de la Organización de Estándares Internacionales (OSI), el porcentaje de ataques a los principales protocolos son los siguientes: 84% DNS, 77% NTP, 42% SSDP y 41% SNMP.

El nivel de complejidad de los ataques a las organizaciones ha evolucionado al grado de impactar la infraestructura, aplicaciones y servicios de forma simultánea, en lo que se está denominando ataques ‘multi-vecto’. Como una respuesta para mitigar los ataques las organizaciones están implementando principalmente Sistemas de Mitigación de DDoS Inteligentes (IDMS) seguido muy de cerca el uso de Listas de Control de Acceso (ACL), estas últimas son (Liu, 2011) “provides security for a private network by controlling the flow of incoming and outgoing packets. Specifically, a network policy is created in the form of a sequence of (possibly conflicting) rules.” señalado por Liu y Torng, habrá que destacar que los principales puertos objetivos de ataques:

- Port 80 con 45.7%
- Port 53 con 12%

- Port 443 con 6.9%
- Port 3074 con 2.3%
- Port 25565 con 2.0%

a) Identificación de conceptos y datos.

Existen 2 tipos de listas de control de acceso: estándar (para el control de directorios y ficheros) y extendida (incluye más elementos), figura 2. Para el diseño del sistema inteligente se ha considerado la validación de las ACL estándar como primera fase, posteriormente se incluirá la validación para las ACL extendidas.

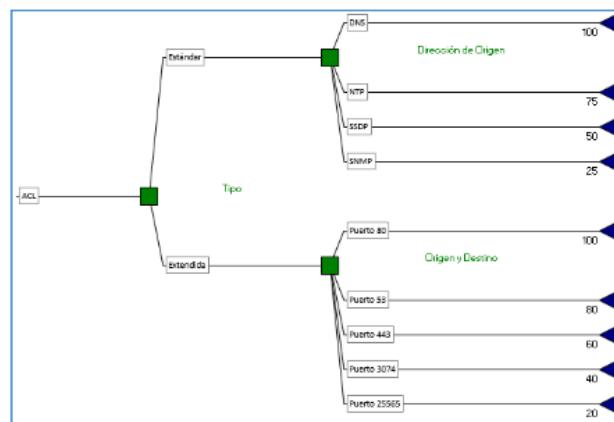


Figura 2. Tipos de ACL.

Con base en la problemática identificada en relación a los ataques por medio de los principales protocolos, se han definido en la Tabla 1 niveles de riesgo para los 4 primeros protocolos de comunicación con mayor vulnerabilidad:

Tabla 1. Protocolos con mayor vulnerabilidad.

Protocolo	Nivel de riesgo	Porcentaje
DNS	Muy Alto	100%
NTP	Alto	75%
SSDP	Medio	50%
SNMP	Bajo	25%

b) Adquisición del conocimiento.

En esta etapa se ha considerado la experiencia y conocimiento de expertos en el área de administración de redes con certificación en CCNA Industrial de CISCO, encargados de las implementaciones y soluciones de problemas comunes de los protocolos estándares en la industria. Por lo tanto, se determinó que el sistema inteligente es funcional para la

evaluación de las ACL estándar, a partir de los 4 elementos que la componen: Nombre, Acción (permitir/denegar acceso), Dirección IP y Protocolo, como se muestra en la figura 3.

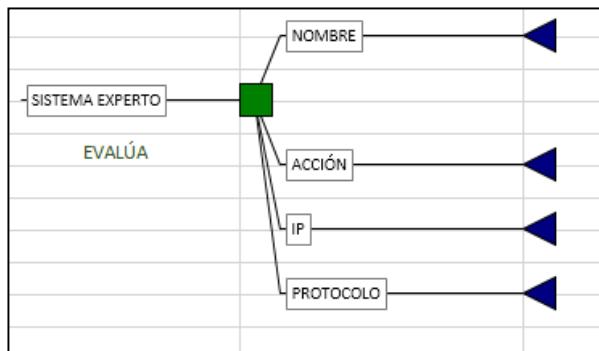


Figura 3. Elementos que componen la ACL estándar.

c) Representación del conocimiento

Con base en los 4 elementos de la ACL estándar, se han diseñado árboles de decisión para establecer el proceso que debe seguir el sistema inteligente en la validación de la estructura de una ACL estándar, como mecanismo de control para las buenas prácticas sobre la seguridad de la información en las redes de cómputo.

La validez del Nombre de la ACL se otorga a partir de que esté formado por un conjunto de caracteres y números, donde el tamaño de los caracteres es de máximo 32 y los números estarán en el intervalo del 1 al 99 (figura 4).

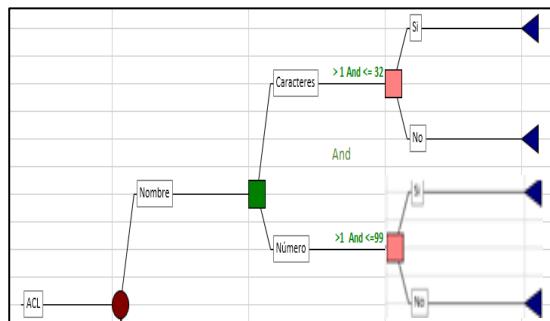


Figura 4. Restricciones para evaluar el nombre de la ACL estándar.

Para evaluar la Acción de la ACL, únicamente se tienen 2 valores “Permit”, para otorgar acceso a la red, en caso contrario “Deny” para denegar la entrada (figura 5).

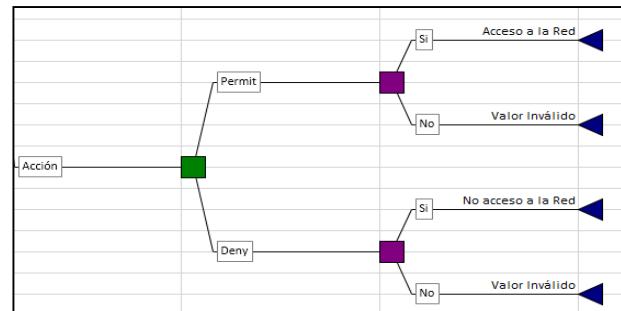


Figura 5. Restricciones para evaluar la acción de la ACL estándar.

Para evaluar la Dirección IP de la ACL, se ha considerado la segmentación de la dirección en cuatro, como se muestra en la figura 6.

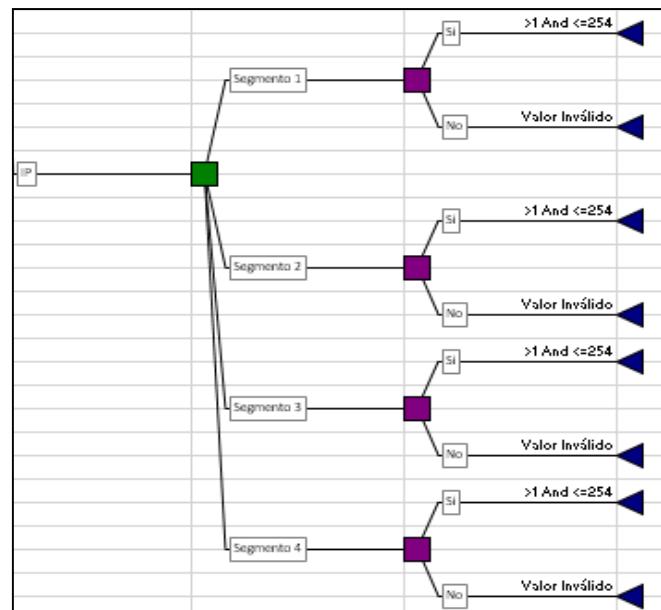


Figura 6. Restricciones para evaluar la dirección IP de la ACL estándar.

Por último, se evalúa el Protocolo que proporciona cierto nivel de seguridad en la red de comunicaciones, para lo cual se han identificado y clasificado los más utilizados. Para cada uno se ha determinado un nivel de seguridad específico que proporciona la ACL, como se muestra en la figura 7.

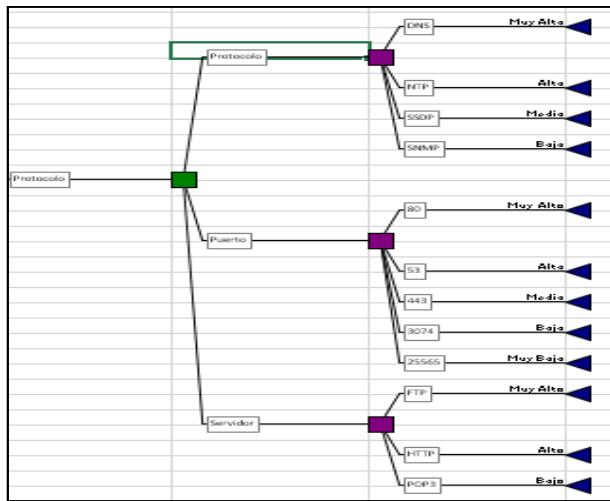


Figura 7. Restricciones para evaluar el protocolo de la ACL estándar.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A partir de los conocimientos adquiridos por medio de los expertos en la administración de las redes de cómputo, se ha logrado el diseño de un sistema inteligente que pueda validar una Lista de Control de Acceso (ACL) estándar antes de que esta sea ingresada a través del router. El prototipo del sistema inteligente se está desarrollando en el lenguaje PROLOG para la ejecución de las reglas de validación accediendo a la base de conocimiento; sin embargo, para la presentación de resultados se ha establecido una conexión con Java para ofrecer al usuario final (administrador de la red de cómputo) una interfaz gráfica. En lo sucesivo, se presentarán los resultados que arroja la implementación del sistema inteligente; puesto que, aún se encuentra en etapa de desarrollo del programa.

Asimismo, en una primera fase del proyecto se ha propuesto la validación de una ACL estándar con base en los 4 elementos que la conforman; sin embargo, se incluirá la validación de una ACL extendida, con la finalidad de realizar las pruebas del sistema inteligente final en un clúster de alta disponibilidad, el cual, aloja aplicaciones web en el ámbito gubernamental y que requiere de la implementación de la norma ISO 27002 para el cumplimiento de la cláusula 9.4 “control de acceso de sistemas y aplicaciones”.

REFERENCIAS

- La UIT pública las cifras de 2016 de las TIC. (2016). Itu.int. Retrieved 22 julio 2016, from <http://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/2016-PR30.aspx>
- Ormella, C. (2014). Las nuevas versiones de las normas ISO 27001 e ISO 27002. 16 de enero de 2014. Website: <http://www.criptored.upm.es/descarga/NuevasVersionesISO27001eISO27002.pdf>
- Uhrig, M. N. (2013). Listas de Control de Acceso.
- Amador Hidalgo, L. (1996). Inteligencia artificial y sistemas expertos. Universidad de Córdoba, Servicio de Publicaciones.
- A General Comparison of FISMA, HIPAA, ISO 27000 and PCI-DSS Standards, Constantine Gikas Information Security Journal: A Global Perspective, Vol. 19, Iss. 3, 2010
- G. Disterer, "ISO/IEC 27000, 27001 and 27002 for Information Security Management," Journal of Information Security, Vol. 4 No. 2, 2013, pp. 92-100. doi:10.4236/jis.2013.42011.
- E. Humphreys, "Information Security Management System Standards," Datenschutz und Datensicherheit, Vol. 35, No. 1, 2011, pp. 7-11. doi:10.1007/s11623-011-0004-3
- ISO 27001 (2017). Retrieved 1 de junio 2017, from <http://www.iso27001security.com/html/27002.html#Contents>
- Harmon, P., & King, D. (1988). Sistemas expertos: aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial. Ediciones Díaz de Santos.
- Cruz, N. E., & Metropolitano, R. (2011). El Rol y Contribución de los Sistemas Expertos en la Prevención de Vulnerabilidades y Riesgos en las Redes y Estaciones de Trabajo.
- Gulisano, V., Callau-Zori, M., Fu, Z., Jiménez-Peris, R., Papatriantafilou, M., & Patiño-Martínez, M. (2015). STONE: A streaming DDoS defense framework. Expert Systems With Applications, 42(24), 9620-9633. doi:10.1016/j.eswa.2015.07.027
- Annual Security Report. Retrieved July 5, 2016 from <https://www.arbornetworks.com/report-thank-you>
- Liu, A. X., Torng, E., & Meiners, C. R. (2011). Compressing Network Access Control Lists. IEEE Transactions On Parallel & Distributed Systems, 22(12), 1969-1977. doi:10.1109/TPDS.2011.114
- Badaró, Sebastián; Ibañez, Leonardo Javier; Agüero, Martín. Sistemas expertos: fundamentos, metodologías y aplicaciones. Ciencia y Tecnología, 2013, vol. 1, no 13
- W. Boehmer, "Appraisal of the Effectiveness and Efficiency of an Information Security Management System Based on ISO 27001," 2008 Second International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies, Cap Esterel, 2008, pp. 224-231. doi:10.1109/SECURWARE.2008.7

- Esmoris, D. O. (2010). Control de acceso a redes (Doctoral dissertation, Facultad de Informática).
- Matturro, G. (2007). Introducción a la Configuración de Routers Cisco.
- Castillo, G. G., Trejo, E. R., & de León, H. Monitoreo y Control en una Red por Medio de Visualizadores de Paquetes IPv4/IPv6 y Listas de Acceso de un Router.
- Fenz, S., Goluch, G., Ekelhart, A., Riedl, B., & Weippl, E. (2007, December). Information security fortification by ontological mapping of the ISO/IEC 27001 standard. In Dependable Computing, 2007. PRDC 2007. 13th Pacific Rim International Symposium on (pp. 381-388). IEEE.
- Bueno Rosales, J. J. (2013). Sistema de control y seguridad endian Firewall para la empresa Frada Sport (Bachelor's thesis, Quito: Universidad Israel, 2013).

Diseño y Desarrollo de un Sistema de Telemetría para el Internet de las Cosas en la Agricultura de Precisión

Hernández-Salazar Jorge¹, Ramos-Fernández Julio^{1*}, Márquez-Vera Marco¹, Pessel-Nathalie², Balmat Jean François²

¹Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

² University of South-Toulon-Var, France.

Recibido: 04 de agosto de 2017; Aceptado: 18 de septiembre de 2017.

Resumen (CCCF)

El presente artículo describe el diseño y fabricación de un sistema de telemetría para la agricultura de precisión con el objetivo de monitorear el riego automático de una producción agrícola en invernaderos, la cual toma como indicativo la evapotranspiración de una planta de referencia con el método de lisímetro. Se desarrolló un módulo de adquisición de variables de bajo costo que lleva a cabo la captura y procesamiento de las variables de microclima presentes en el invernadero; posteriormente con la implementación de un servidor alojado en internet se garantiza la disponibilidad de la información desde cualquier parte del mundo, a la que se puede acceder a través de una conexión a internet. Los primeros resultados generados del desarrollo del sistema de telemetría han permitido el monitoreo automático y en tiempo real del riego agrícola y de variables bioclimáticas, las cuales proporcionan la ayuda necesaria para tomar algunas decisiones en beneficio de la producción agrícola.

Palabras clave: *Agricultura de Precisión, Evapotranspiración, Internet, Riego, Telemetría.*

Abstract (AREA)

The present article describes the design and manufacture of a telemetry system for precision agriculture with the objective of monitoring the automatic irrigation of agricultural production in greenhouses, which takes as an indication the evapotranspiration of a reference plant with the lysimeter method. A low-cost variable acquisition module was developed that performs the capture and processing of microclimate variables present in the greenhouse; later with the implementation of a server hosted on the internet, the availability of information is guaranteed from anywhere in the world, which can be accessed through an internet connection. The first results generated from the development of the telemetry system have allowed automatic and real-time monitoring of agricultural irrigation and bioclimatic variables, which provide the necessary help to make some decision for the benefit of agricultural production.

Key words: *Precision Agriculture, Evapotranspiration, Internet, Irrigation, Telemetry.*

1. INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología en el campo de la electrónica y las comunicaciones, ha permitido que los últimos años sea más accesible el tráfico de información entre personas y equipos, como resultado del progreso tecnológico y la evolución de las computadoras, la aplicación de las telecomunicaciones es cada vez más utilizada para comunicar, monitorear y controlar a distancia procesos industriales, agrícolas y de la vida cotidiana. El concepto de Internet de las Cosas (*IoT, Internet of Things*), fue introducido por primera vez por el profesor Ashton cuando se encontraba realizando una investigación sobre Identificación por Radio Frecuencias

(RFID, Radio Frequency Identification) en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (Haller, Karnouskos, & Schroth, 2008).

El *IoT* describe un escenario en el que todos los dispositivos que tengan la capacidad de conectarse a internet a través de redes fijas o inalámbricas se puedan vincular entre sí, de esta manera permite visualizar situaciones en tiempo real y facilita la toma de decisiones de manera remota. Algunas de las aplicaciones más comunes del *IoT* es en el área de domótica, cuidado de salud, negocios, entre otras (Miorandi, Sicari, De Pellegrini, & Chlamtac, 2012).

La Agricultura de Precisión (AP) engloba un conjunto de técnicas, herramientas y materiales en la producción de los cultivos con el propósito

de obtener altos rendimientos. La AP se ha convertido en la integración de tecnología efectiva para la modernización de la producción agrícola, siendo uno de sus propósitos la adquisición e integración de la información digital del proceso productivo para garantizar su calidad (Kropff, Wallinga, & Lotz, 2007), (Minbo, Zhu, & Guangyu, 2013).

Una de las tecnologías de mayor uso en el campo de la AP es el uso de Redes de Sensores Inalámbricos (*WSN, Wireless Sensor Network*) conformada por dispositivos electrónicos capaces de medir las principales variables que interactúan en un entorno controlado (Coates, Delwiche, Broad, & Holler, 2013). El uso de *WSN* permite identificar y predecir el comportamiento del sistema a partir del análisis funcional de las variables y así definir estrategias de control para el microclima en invernaderos, tal como se muestra en (Touati, Al-Hitmi, Benhmed, & Tabish, 2013). Lo que influye directamente en la reducción de los costos de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medioambiente (Burgos-Artizzu, Ribeiro, & de Santos, 2007). Las redes inalámbricas permiten el despliegue de sensores y actuadores, que facilitan el monitoreo y control de manera autónoma en invernaderos y campos de producción agrícola (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014).

El internet es el medio de transmisión de información por excelencia, ha cambiado el mundo de la computación de una manera favorable. Ha evolucionado desde el concepto de computación paralela a *Cloud Computing* (Jadeja & Modi, 2012). La computación en la nube, es una nueva forma de aplicación para el internet y una tendencia reciente en la TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) (Mejía, 2011). El campo de la agricultura es un sector que cada vez más, incorpora tecnología en los procesos de producción, esto debido a las ventajas que ofrece el control a distancia. En (Goumopoulos, O'Flynn, & Kameas, 2014), (Bartlett, Andales, Arabi, & Bauder, 2015), (Sesma, Molina-Martínez, Cavas-Martínez, & Fernández-Pacheco, 2015) se muestra la implementación de redes de sensores y la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles para la manipulación a distancia de diferentes actuadores.

El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un sistema de telemetría para el monitoreo del riego automático y de variables de

microclima en invernaderos de manera remota, en el cual se integran múltiples tecnologías basadas en la TIC como redes, comunicaciones y servicios Web. El sistema consiste de un módulo de adquisición de variables de microclima que se encarga de capturar y procesar los datos de un invernadero experimental, que posteriormente son enviados a un servidor Web el cual cumple el objetivo de almacenar la información en internet, y asegurar la disponibilidad de los datos en cualquier momento que sean requeridos por el usuario final para su estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración y diseño del sistema de telemetría aplicado a la AP se identificaron tres etapas de desarrollo, las cuales consistieron en a) Identificar los requerimientos que debía satisfacer el prototipo, con el objetivo de establecer los materiales (*Hardware*) y herramientas (*Software*) a utilizar para el desarrollo tecnológico, b) Diseño y fabricación del módulo de adquisición de variables de microclima y del servidor Web para el *IoT*, y c) Implementación del sistema de telemetría en tiempo real.

2.1. Análisis de requerimientos

Para el desarrollo del módulo de adquisición de variables se eligió el *Hardware* que se indica en la Tabla 1, útiles para medir el microclima, transmitir y almacenar localmente las siguientes variables: temperatura, humedad relativa, radiación infrarroja, medición indirecta de la masa evapotranspirada de la planta, resistividad eléctrica del sustrato y Déficit de Presión de Vapor (VPD), esta última como indicativo para evaluar condiciones que pueden propiciar enfermedades y plagas (Ramos-Fernández, López-Morales, Lafont, Enea, & j, 2010).

Tabla 1. Elección del *Hardware* para el desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima.

Materiales	Descripción
HX711	Convertidor Analógico-Digital de 24 bits de resolución, diseñado para celdas de carga
RTC DS 1302	Integrado de reloj de tiempo real
Infrarrojo omega OS136	Dispositivo para medir la radiación infrarroja del cultivo
Sensor de humedad YL-39	Integrado para medir la resistividad del sustrato

Módulo de memoria SD	Modulo para respaldo local de información
DHT22	Sensor para medir temperatura y humedad relativa
Balanza Sartorius	Balanza industrial de 70 kg con legibilidad de 0.1g
Bomba brushless	Bomba de agua sumergible
Router de 4 puertos	Permite la comunicación a la red local e internet

Para la construcción del servidor Web se realizó la elección del Software necesario que permitiera la gestión, almacenamiento y disponibilidad de la información recolectada, para ser utilizada por el usuario final. Dichos componentes se encuentran detallados en la Tabla 2, donde se describen algunas características deseadas.

2.2. Diseño y fabricación

En esta etapa de desarrollo se llevó a cabo la integración de los diferentes componentes para el módulo de adquisición de variables como se muestra en la Figura 1, que permite medir el microclima del volumen de producción y la masa de agua evapotranspirada de una planta de referencia de la producción total, para llevar a cabo de manera automática la irrigación de la producción agrícola en invernadero a partir de las necesidades hídricas de la planta.

Tabla 1. Elección del software para el desarrollo del servidor web.

Herramientas	Descripción
Servidor Apache	Servidor Web modular, de código abierto, extensible, multiplataforma y popular (Apache Software, 2016).
Lenguajes de desarrollo web (PHP, HTML)	Estas herramientas permiten el desarrollo Web del lado del servidor y la elaboración de páginas Web (Cobo, Gómez, Pérez, & Rocha, 2005), (Raggett, Le Hors, & Jacobs, 1999).
Manejador de Base de Datos (MySQL)	Herramienta de código abierto de excelente portabilidad, seguridad, escalabilidad y conectividad (MySQL, 2017).
Protocolos de comunicación (TCP/IP, 802.11n, HTTP, REST)	Protocolos utilizados para proveer conectividad de extremo a extremo, así como proporciona la conexión inalámbrica, gestionar la transferencia de información en la World Wide Web e intercambiar datos entre diferentes aplicaciones (Estrada-Corona, 2004), (TP-LINK, 2011), (Khare, 1996), (Chanchí, Campo, & Amaya, 2011).

El módulo de adquisición de variables de microclima utilizado en este estudio fue desarrollado con tarjetas programables, basada

en el microcontrolador Atmel ATMEGA2560, y electrónica básica, esta plataforma fue elegida por su bajo costo, integración de componentes electrónicos fácil y programación en lenguaje C (Arduino, 2015). El sistema fue alimentado directamente de una toma de corriente eléctrica y un regulador con salida de 12 volts. El sistema consistió de una tarjeta *Ethernet Shield* conectada directamente a un router de cuatro puertos que permitió la conectividad inalámbrica para la trasferencia de información a la red. Un compartimento para tarjetas de memoria en formato SD (*Secure Digital*) utilizada para crear copias de seguridad de manera local. Múltiples reguladores de corriente (LM7805) para la alimentación de los diferentes dispositivos. La recolección de las muestras fue llevada a cabo por los diferentes sensores, con intervalos de trasferencia de cinco minutos entre cada una de ellas, esta información se transmite en paralelo hacia el servidor Web y una estación base local. El sistema utiliza una topología de red en estrella, lo que significa que todos los nodos transmiten de manera simultánea los parámetros capturados al Host destino.

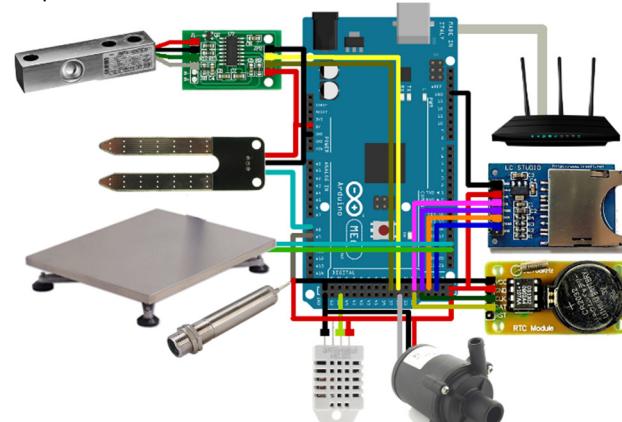


Figura 1. Esquema de integración de componentes para módulo de adquisición de variables.

De igual manera se desarrolló una arquitectura de tráfico de información como se observa en la Figura 2. En la parte inferior de la imagen se puede apreciar una WSN y en la parte superior se observa el servidor Web, este último utiliza como plataforma de comunicación un alojamiento Web, el Software del fabricante ofrece un manejador de base de datos MySQL y un servidor Apache que cumple con las características que se muestran en la Tabla 2.

Se agregaron cuatro programas escritos en lenguaje de programación PHP (*PHP Hypertext Preprocessor*) y HTML (*HyperText Markup*

Language) en los que se realiza lo siguiente: 1) Permite leer y escribir en la Base de Datos (DB) las variables del microclima enviadas por el Arduino a través de una petición GET, 2) Permite visualizar las variables de microclima en tiempo real a través de una interfaz gráfica de usuario (Página Web), el programa realiza consultas SQL (**Structured Query Language**) sobre la DB, que devuelve la información solicitada por el usuario, la información es representada en forma de graficas de línea, 3) Lleva a cabo la gestión y notificación de mensajería móvil vía SMS (Short Message Service) ofrecido por un operador de servicios móviles, cada vez que se genera un riego, la información es enviada a través de una petición GET y 4) Ofrece la gestión para establecer comunicación entre la DB y una aplicación móvil para sistema operativo Android, esta aplicación para teléfonos inteligentes realiza peticiones JSON con consultas SQL para la visualización de las variables de microclima, la información es presentada en forma de texto.

2.3. Implementación

En esta etapa de desarrollo se llevó a cabo la implementación del sistema de telemetría el cual fue instalado en un invernadero experimental dedicado exclusivamente a la producción de tomate, ubicado en la localidad de San Miguel la Higa, situado en el municipio de Mineral de la Reforma en el estado de Hidalgo, el resultado de esta etapa de desarrollo se describe a mayor detalle en la sección de “Resultados y discusión” donde se muestra la funcionalidad en tiempo real del sistema.

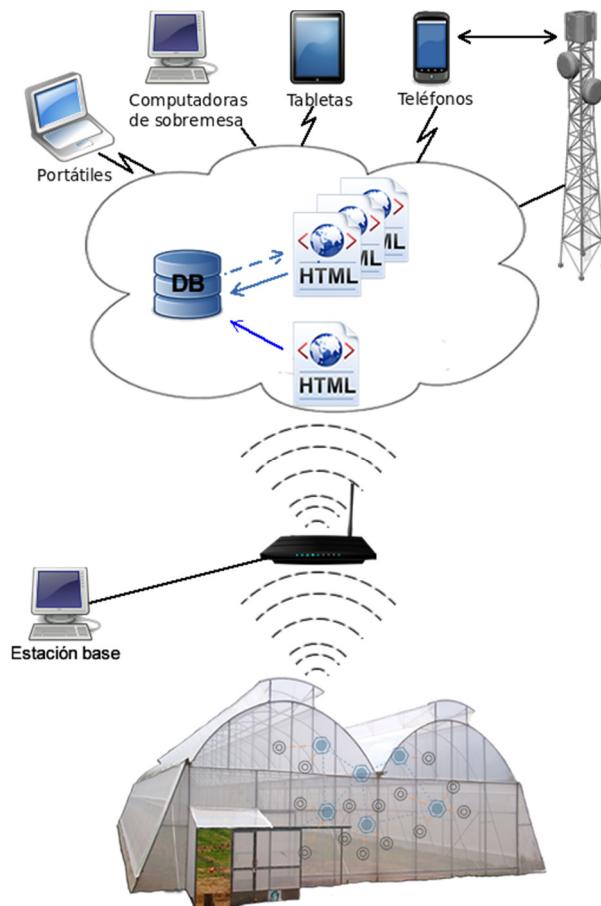


Figura 2. Arquitectura propuesta para el sistema de telemetría.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del desarrollo del módulo de adquisición de variables de microclima se generó una base de datos con importante cantidad de información sobre el comportamiento y la dinámica bioclimática de un invernadero experimental como se puede ver en el Gráfico 1. Con ayuda del lisímetro de balanza implementado en el módulo de adquisición, se monitoreó de manera continua la evapotranspiración de una planta de referencia de la producción total, este método se utilizó para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración como se observa en el Gráfico 2 y con ello poder definir la cantidad de agua a regar en la producción total, al final de cada día se aplicaron riegos para compensar la cantidad de agua perdida, agregando un 10% para generar dren y eliminar sales minerales presentes en el sustrato. Si durante el transcurso del día la disponibilidad de agua del sustrato se encontraba por debajo del

40% como se expone en (Escalona, Alvarado, Monardes, Urbina, & Martín, 2009) se aplicaron riegos complementarios, esta información se puede conocer a partir de la calibración de los electrodos de continuidad como se aprecia en el Grafico 3, este proceso permite mantener la planta en un estado de saturación hídrica. Utilizando diferentes mediciones de la masa de agua agregada en gramos (gr) y el tiempo de encendido de la bomba en segundos (s), se caracterizó el caudal entregado por la bomba de acuerdo con (1).

$$Q(t) = \begin{cases} 66.16949 * t - 0.4745; & \text{si bomba} = 1, \\ 0; & \text{si bomba} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde $Q(t)$ es el caudal entregado por la bomba medido en gramos por segundo (gr/s).

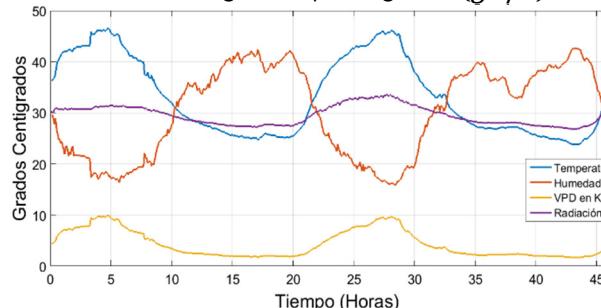


Gráfico 1. Comportamiento de las principales variables de microclima.

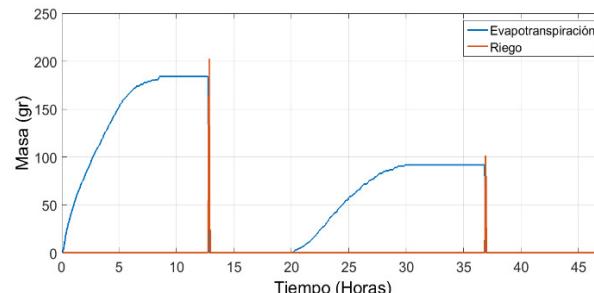


Gráfico 2. Comportamiento de la evapotranspiración y riego.

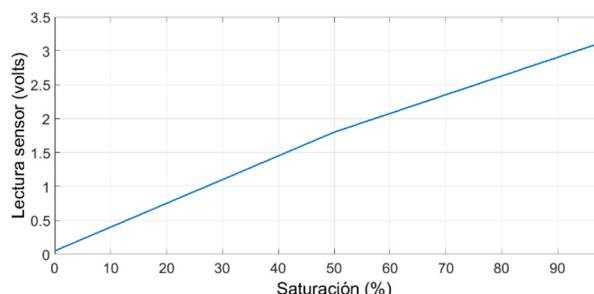


Gráfico 3. Calibración del sensor de continuidad.

La experimentación para determinar si el método utilizado para regar la producción total

del invernadero era eficiente, se comprobó con la fórmula de balance de masas (2).

$$M_{evap} = M_o + M_{agre} - M_f - M_{dren} \quad (2)$$

donde, M_{evap} es masa evapotranspirada, M_o en la masa inicial, M_{agre} corresponde a la masa agregada durante cada riego, M_f es la masa final y M_{dren} es la masa drenada.

El desarrollo del servidor Web permitió instalar múltiples servicios Web, uno de estos servicios ofrecidos es la página Web (<http://comgara.xyz/>) la cual ofrece la visualización de las variables de microclima de manera gráfica y en tiempo real, este sitio Web es de gran ayuda para el usuario final ya que ofrece la impresión y descarga de la misma en formato JPEG, PNG y PDF. La app para dispositivos móviles cuenta con cuatro ventanas como se observa en la Figura 3, se puede navegar a partir de un menú de opciones ubicado en la parte superior derecha, la cual vincula a la ventana de las variables del microclima y la ventana del registro de los riegos efectuados en el invernadero. Esta aplicación para dispositivos móviles es atractiva para los productores agrícolas al proporcionar acceso eficaz a la información de las variables de microclima presentes en el invernadero. El uso de la herramienta móvil tiene la ventaja de ser una plataforma portátil y fácilmente accesible.

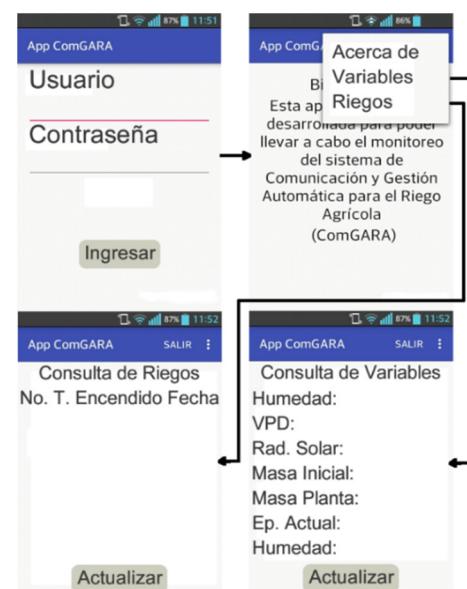


Figura 3. Ventanas de navegación de la aplicación móvil.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo del módulo de adquisición de variables para la agricultura de precisión ofrece una solución rápida, de bajo costo y fácil de elaborar, que permite el monitoreo de variables de microclima en tiempo real dentro de un entorno controlado. Mediante el monitoreo de la humedad del suelo, variables climáticas y balance de masas para determinar la cantidad de agua perdida por el proceso de evapotranspiración, el sistema es capaz de compensar de manera automática el agua perdida más un 10% para generar dren. Del mismo modo proporciona apoyo extra al usuario final para que a partir de su propia experiencia sea capaz de tomar decisiones de manera oportuna. La base de datos con información sobre las variables de microclima define el comportamiento y dinámica del sistema, esta base de datos puede ser utilizada para realizar aprendizaje y definir modelos de predicción de eventos.

El desarrollo del servidor Web y la implementación y desarrollo de múltiples servicios Web proporciona la disponibilidad de la información desde cualquier lugar del mundo donde se cuente con acceso a internet, lo que la convierte en una plataforma eficaz para llevar a cabo la incorporación de múltiples servicios. La aplicación para dispositivos móviles y la página Web proporcionan un medio rápido para que el usuario final pueda acceder a la información.

La aplicación de los riegos de manera controlada, racionada y oportuna en la producción agrícola, permite el uso más efectivo de un recurso muy importante dentro de la agricultura de precisión como lo es el agua.

AGRADECIMIENTOS

Jorge Adalberto Hernández Salazar, con número de CVU 713181, agradece al CONACyT por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- Apache Software, F. (2016). Apache HTPP Server Project. Obtenido de <http://httpd.apache.org/>
Arduino. (2015). *Introduction to Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>

- Bartlett, .. C., Andales, A. A., Arabi, M., & Bauder, T. A. (2015). A smartphone app to extend use of a cloud-based irrigation scheduling tool. *Computers and Electronics in Agriculture*, (111) 127-130.
- Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., & de Santos, M. (2007). Controlador borroso multivariable para el ajuste de tratamientos en agricultura de precisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIA*, 4 (2) 64-71.
- Chanchí, G. E., Campo, W. Y., & Amaya, J. P. (2011). Esquema de servicios para Televisión Digital Interactiva, basados en el protocolo REST-JSON. *Cadernos de Informática*, 6(1).
- Coates, R., Delwiche, M., Broad, A., & Holler, M. (2013). Wireless sensor network with irrigation valve control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 13-22.
- Cobo, Á., Gómez, P., Pérez, D., & Rocha, R. (2005). *PHP y MySQL: Tecnología para el desarrollo de aplicaciones web* Primera edición. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Escalona, V., Alvarado, P., Monardes, H., Urbina, C., & Martín, A. (2009). *Manual del cultivo de tomate*.
- Estrada-Corona, A. (2004). Protocolos TCP/IP de Internet. *Revista Digital Universitaria*, 5(8). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.5/num8/art51/art51.htm>
- Goumopoulos, C., O'Flynn, B., & Kameas, A. (2014). Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, (105) 20-33.
- Haller, S., Karnouskos, S., & Schroth, C. (2008). The Internet of Things in an Enterprise Context. *Future Internet Symposium*, 14-28.
- Jadeja, Y., & Modi, K. (2012). Cloud computing-concepts, architecture and challenges. *Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET) IEEE*, 877-880.
- Khare, R. (1996). *PEP: An Extension Mechanism for HTTP/1.1*. Obtenido de <https://www.w3.org/TR/WD-http-pep-960222>
- Kropff, M. J., Wallinga, J., & Lotz, L. A. (2007). Modelling for Precision Weed Management. *Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality* (in Ciba Foundation Symposium 210), 182-204.
- Mejia, O. (2011). Computación en la nube. *ContactoS*, (80) 45-52.
- Minbo, L., Zhu, Z., & Guangyu, C. (2013). Information Service System Of Agriculture IoT. *Automatika*, 415-426.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7) 1497-1516.
- MySQL. (2017). *MySQL Reference Manual*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/features.html>

- Raggett, D., Le Hors, A., & Jacobs, I. (1999). *HTML 4.01 Specification*. Obtenido de <http://webx.ubi.pt/~hgil/utils/HTML/html40.pdf>
- Ramos-Fernández, J. C., López-Morales, V., Lafont, F., Enea, G., & j, D. (2010). Una estructura neurodifusa para modelar la evapotranspiración instantánea en invernaderos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 11(2) 127-139.
- Sesma, J., Molina-Martínez, J. M., Cavas-Martínez, F., & Fernández-Pacheco, D. G. (2015). A mobile application to calculate optimum drip irrigation laterals. *Agricultural Water Management*, (151) 13-18.
- Touati, F., Al-Hitmi, M., Benhmed, K., & Tabish, R. (2013). A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar. *Computers and electronics in agriculture*, (98) 233-241.
- TP-LINK. (2011). *Tecnología 802.11n*. Obtenido de <http://www.tp-link.com.mx/article/?faqid=229>

Análisis de la Estructura Base de un Elevador para Personas Discapacitadas en el Edificio K de la UTHH

Hernández-Alvarado Oratio, Álvarez-Álvarez Joaquín, López-Zavala Adolfo

Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Hidalgo, México.

Recibido: 29 de agosto de 2017; Aceptado: 18 de septiembre de 2017.

Resumen (CI)

El presente trabajo consiste en el análisis de vigas para el diseño de un elevador de cabina grande para estudiantes con dificultades de desplazamiento autónomo en la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, principalmente para instalarse en el edificio K planta alta. El objetivo es realizar el análisis de esfuerzos mecánicos y deflexiones de las vigas utilizadas en la estructura principal del elevador a los que está sujeto los componentes. La metodología implementada es la simulación numérica utilizando el Software Solid Works y la investigación de campo para determinar la geometría del área que se dispone para su instalación y la aplicación de teorías de diseño mecánico, las herramientas de diseño y desarrollo de productos y la simulación numérica aplicando por Software. Con la ayuda de las herramientas se obtuvo que las deflexiones en la viga que soporta los polipastos es de 0.004634 milímetros con un esfuerzo flexionante de 106.67 MPa, mientras que la viga C9X20 con una longitud de 1542.8 mm quien sirve como travesaño para la viga principal tiene una deflexión de 0.169 mm lo que ocasiona una deformación unitaria de 0.0001856 mm/mm.

Palabras clave: *Elevador para personas, Estudiantes discapacitados, Deflexión en vigas.*

Abstract (CI)

The present work in the analysis of beams for the design of a large cabin elevator for students with the difficulties of displacement in the Technological University of Huejutla Hidalguense, mainly to install in the K-floor building. The objective is to perform the analysis of the mechanical stresses and deflections of the beams used in the main structure of the elevator in which the components are subjected. The methodology implemented in the numerical simulation in the Solid Works Software and the field research for the determination of the geometry of the area that is available for its installation and the device of mechanical design theories, the tools of design and development of products and the Numerical simulation using software. With the help of the tools it was obtained that the deflections in the beam that blows the hoists is 0.004634 millimeters with a bending stress of 106.67 MPa, whereas the beam C 9 x 20 with a length of 1542.8 millimeter that serves as a crossbar for Main beam has a deflection of 0.169 mm for a single unit deformation of 0.0001856 mm / mm.

Keywords: *Elevator for people, Students with disabilities, Deflection on beams.*

1. Introducción

La movilidad de todo ser humano es de suma importancia para la subsistencia en la sociedad actual. Dentro de la movilidad espacial de la población se han distinguido de manera tradicional dos tipos fundamentales, la migración y la circulación, caracterizándose la primera por una modificación permanente o semi-permanente del lugar de residencia y la segunda por referirse a desplazamientos cortos, reiterativos o cíclicos (Zelinsky, 1971:225-26). Siendo esta última el enfoque de cual se pretende contribuir. En contraparte el estudio de la movilidad peatonal, es frecuentemente considerado poco relevante o muy costosa en su captación estadística por el cual se tiene muy

poca información (Casado Izquierdo, s.f.).

La movilidad espacial de la población, específicamente la circulación es la que se estudiará de manera más puntual ya que aborda desde desplazamientos en el centro de trabajo, acudir a los centros de estudio de parte de los estudiantes.

Las personas con movilidad reducida o disminuciones sensoriales o mentales, presentan por esa condición dificultades para participar en las actividades ordinarias de la sociedad, además de que sufren permanentemente discriminación y exclusión social (Ordoñez Vera, 2017).

La discapacidad motriz en México, según fuentes de INEGI indica que en México para el

año 2014 la prevalencia de discapacidad motriz es del 6% según datos de ENADID 2014, es decir, 7.1 millones de habitantes no pueden o tienen mucha dificultad para efectuar alguna de las 8 actividades evaluadas: caminar, subir o bajar usando sus piernas entre otras (INEGI, 2014). Del 100% del 6% de las personas que presentan alguna discapacidad se reporta que el 64.1% corresponde al de la discapacidad para caminar y subir o bajar con las piernas. En el estado de Hidalgo existe el 2.2 % del territorio nacional que sufre estos problemas, de las cuales el 63.0 % corresponde al de la discapacidad motriz pero no por ser una estadística baja, no se tiene que considerar (Fuente INEGI-2014).

En la educación que es el aspecto motivacional para desarrollar este proyecto ya que normalmente los salones que se destinan para la educación algunas se encuentran en plantas superiores en los edificios lo que provoca algún tipo de desventaja con respecto a las personas sin discapacidad, convirtiendo este problema a la baja participación en alguna actividad económica o si se insertan usualmente reciben un menor salario que las personas sin discapacidad (INEGI, 2014).

2. El estado del arte de los sistemas de elevación para personas.

Se han realizado varias aportaciones al sistema de ascensores de los cuales solo se muestran algunos y que se definen de siguiente manera:

A. DISPOSITIVO DE APOYO DE BASE DE MÁQUINA PARA UN SISTEMA DE ELEVACIÓN

Esta invención se refiere a un dispositivo de fijación de la base de la máquina para un sistema elevador de ascensor que incluye un cuerpo de refuerzo unido a un carril conformador que guía el movimiento de un cuerpo elevador y un miembro de fijación de la base de la máquina que está fijado a una base de la máquina para soportar el sistema elevador y unido al carril. El carril de conformación incluye un par de porciones de brida y una parte saliente de carril fijada entre el par de porciones de brida. Una porción de ranura que se abre entre el par de porciones de brida está formada en la porción de saliente de carril. El cuerpo de refuerzo incluye una parte de inserción que se inserta en la

porción de ranura. El elemento de fijación de la base de la máquina está unido a una parte de la porción saliente del riel en la que se inserta la porción de inserción (Yasuo, 2014).

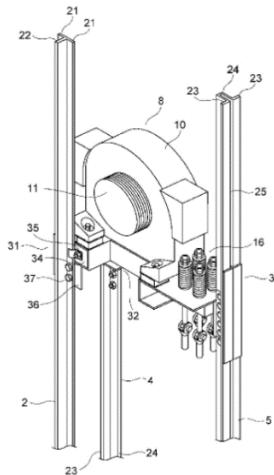


Figura 1. Sistema de elevación para un ascensor. Fuente: tomado de la patente con número de US2017121151 (A1)

B. ELEVADOR SIN CUARTO DE MÁQUINAS

Esta invención se refiere a un ascensor sin sala de máquinas, que comprende: un cabina configurado para ascender y descender en un hueco de una estructura arquitectónica; Un contrapeso configurado para ascender y descender de forma inversa a la cabina; Una cuerda configurada para suspender el coche y el contrapeso; Y una máquina elevadora configurada para accionar la cuerda, en el que está soportado un conjunto de viga de soporte, que está configurado para soportar no una carga de la estructura arquitectónica, sino al menos cargas del automóvil, el contrapeso, el cable y la máquina de izado En un conjunto de viga de piso superior de la estructura arquitectónica (Masahiko, 2014).

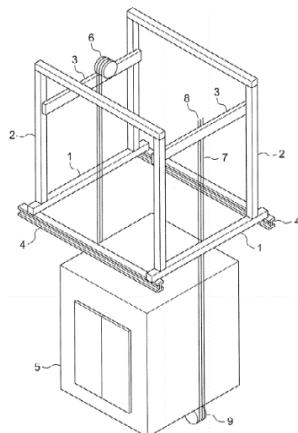


Figura 2. Una vista de un ascensor sin cuarto de motores.
 Fuente: tomado de la patente con número de US2017107083 (A1)

C. MÁQUINA DE ENGRANAJE DE TRACCIÓN PARA ASCENSOR

Esta invención se refiere a un sistema de ascensor ejemplar 20. El sistema elevador 20 está situado dentro de un hueco 22 y se extiende generalmente desde un piso hasta un techo de la caja de elevación 22. La cuna 22 puede cubrir toda la altura del edificio o, alternativamente, la cuna 22 puede extenderse solamente sobre una parte de la altura del edificio. El sistema de ascensor ejemplar 20 puede usarse tanto en aplicaciones de alto como de bajo crecimiento. El sistema de ascensor 20 incluye carriles de guía de vehículo 24 situados en lados opuestos de una cabina de ascensor 26 que guían el movimiento de la cabina de ascensor 26 dentro del hueco 22. Los conjuntos de guía (no mostrados) dispuestos adyacentes a la parte superior e inferior de la cabina de ascensor 26 están configurados para mantener una alineación apropiada de la cabina de ascensor 26 a medida que se desplaza a lo largo de los carriles de guía 24 de la cabina (Watson, s.f.).

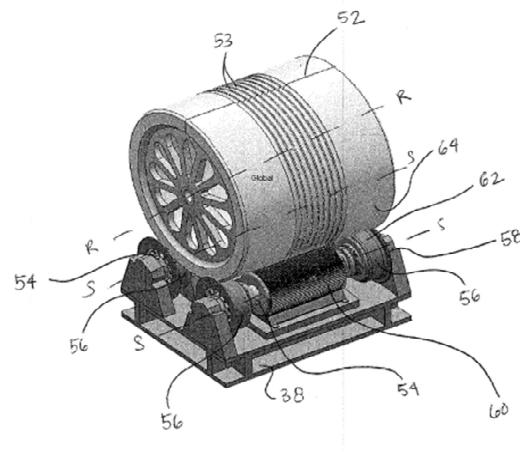


Figura 3. Una vista sistema de engranaje para la tracción de un ascensor. Fuente: tomado de la patente con número de US2017088400 (A1)

Metodología

Revisando el estado de la técnica, observo que, para reducir los costes de fabricación, que es uno de los objetivos de este proyecto es optar por un elevador sin cuarto de máquinas tal se muestra en la figura 3. El modelo propuesto no considera un sistema de transmisión de la patente US2017088400 (A1), sino que considera algunos sistemas mecánicos de la patente US2017107083 (A1) complementando con un sistema de frenado electromecánico.

- Deflexiones y pendientes por el método de integración

El análisis estructural es el estudio de las estructuras como sistemas discretos. La teoría de las estructuras se basa esencialmente en los fundamentos de la mecánica con los cuales se formulan los distintos elementos estructurales (Luévanos, 2011). Una viga es considerada un elemento estructural por lo que el análisis de deflexiones de acuerdo a la literatura consultada se puede realizar con varios métodos entre los que se encuentran, el método de integración, funciones de discontinuidad y el método del momento de área. Para este artículo se usará el método de integración para encontrar la ecuación de la curva elástica y posteriormente la determinación de la deflexión máxima de la viga. El método de doble integración produce ecuaciones para la pendiente la deflexión en toda la viga y permite la determinación directa del punto de máxima deflexión (Galán, 2011).

Para la mayoría de los problemas de ingeniería la rigidez a la flexión de una viga (EI) es constante a través de la longitud. Con esta afirmación las tres ecuaciones diferenciales siguientes se utilizan para encontrar la ecuación de la curva elástica para diferentes tipos de cargas (123).

$$EI \frac{d^4v}{dx^4} = w(x) \quad (1)$$

$$EI \frac{d^3v}{dx^3} = V(x) \quad (2)$$

$$EI \frac{d^2v}{dx^2} = M(x) \quad (3)$$

Donde

E = modulo elástico

I = momento de inercia

w = carga normal

V = carga cortante transversal

M =momento flexionante

A continuación, se muestra el análisis de algunos componentes del sistema estructural mediante métodos de pendiente y desplazamiento por integración.

Cálculo de vigas en el soporte de conjunto de transmisión superior del elevador.

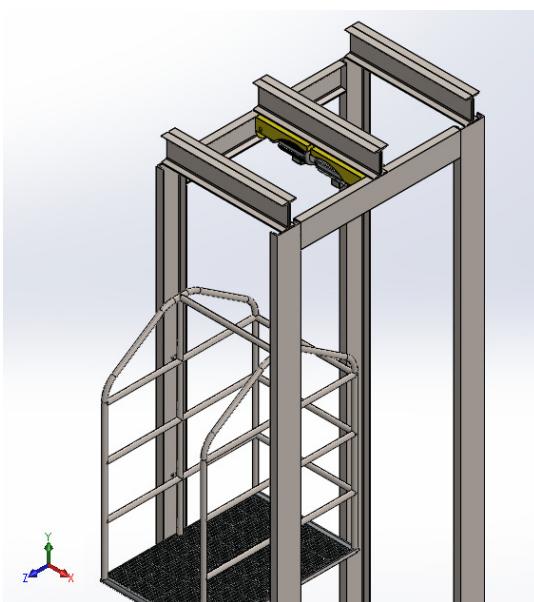


Figura 3. Estructura de la parte superior del elevador para el edificio K.

El modelo del elevador que se muestra en la Fig. 3, cuenta con varios componentes. Cuenta con una cabina de altura completa, con sistema de elevación, con un sistema de rieles en donde se desplaza las ruedas de autoajuste de la cabina. Todos estos elementos se alojan dentro de una estructura compuesta de vigas en C 9X20 y W 8X24. Unidos mediante soldaduras y pernos.

El sistema de elevación está compuesto por dos polipastos eléctricos con cable de diámetro 5.6 mm con capacidad de carga de entre 400 kg a 800 kg, alimentados de a un voltaje de 110 Volts, con una velocidad de elevación de entre 10 a 5 m/min., adecuado para el sistema contemplado. La cabina de altura completa cuenta con un peso de 588.6 N, elaborado de tubo estructural de un 1 ¼ de pulgadas cédula 40, apto para resistencias a la tracción.

RESULTADOS

El análisis de deflexiones de la viga W8X24, se analiza a continuación:

La viga, soportará el peso de la cabina, la silla de ruedas y de la persona sumando un total de 5052 N distribuidos en dos puntos, debido que se elevará mediante dos polipastos sincronizados. También existe el peso de los polipastos de acuerdo al fabricante la masa de cada una de ellas es de 20 kg.

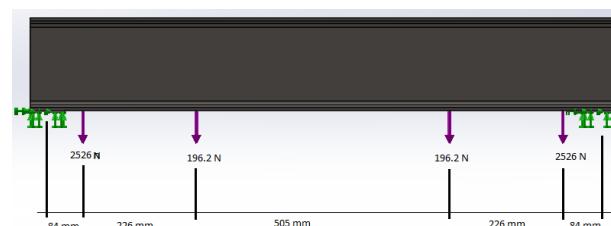


Figura 4. Una vista frontal de la viga donde se muestra la distribución de las cargas.

De la Fig. 4. Determino las reacciones en los soportes, aplicando las ecuaciones de equilibrio estático lo que resulta

$$Ray = Rby = 2722.2 N$$

Aplicando el método de secciones encuentro el momento flexionante que rige la viga mostrado en la ecuación (4)

$$M = -0.2 x_1 + 273 \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación 1, en la ecuación 3

$$EI \frac{d^2v}{dx^2} = -0.2 x_1 + 273$$

$$EI \int d^2v = \int (-0.2 x_1 + 273) dx^2$$

Lo que resulta

$$EI dv = (-0.1x_1^2 + 273 x) dx$$

Integrando nuevamente

$$EI \int dv = \int (-0.1x_1^2 + 273 x) dx$$

Se obtiene la ecuación de la curva elástica

$$\begin{aligned} EI v &= (5) \\ &= -0.003x_1^3 \\ &+ 136.503x_1^2 + C_1 x_1 \\ &+ C_2 \end{aligned}$$

Las condiciones de frontera, aplicando a la ecuación 5, se obtiene la ecuación de la curva elástica.

$$\begin{aligned} x = 0 &\rightarrow v = 0 \\ x = \frac{L}{2} &\rightarrow \frac{dv}{dx} = 0 \end{aligned}$$

$$EI v = -0.003x_1^3 + 136.503x_1^2 - 153.3x_1$$

Sustituyendo las propiedades mecánicas y geométricas del Viga W 8X24 de acero estructural A36 resulta un desplazamiento de 0.006248 mm. Con lo que se comprueba con la simulación de la viga realizado en Solid Works que se muestra en la figura 5.

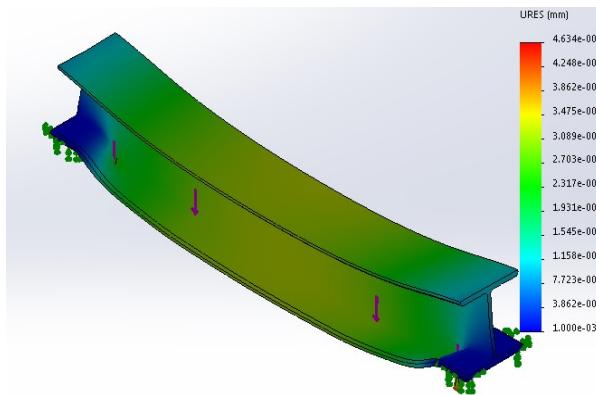


Figura 5. Análisis de deflexiones por computador.

Realizando el mismo análisis, pero ahora con la viga C 9X20 que sirve como travesaño para la viga anterior que se muestra en la figura 6.

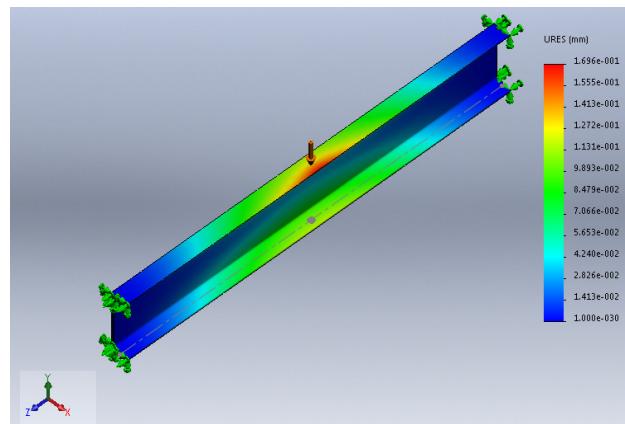


Figura 6. Análisis por computadora de la deflexión en la viga travesaño.

DISCUSIÓN

De acuerdo a la Fig. 5, la deflexión máxima que ocurre a la mitad de viga es de 0.004634 mm, misma que es adecuado de acuerdo a lo indica Mott que la deflexión máxima permisible debido a la flexión es de 0.0005.

El esfuerzo flexionante es de 106.7 MPa dando así un excelente factor de seguridad.

Para el análisis de la viga C 9 X 20 con una longitud de 1542.8 mm quien sirve como travesaño para la viga principal tiene una deflexión de 0.169 mm lo que ocasiona una deformación unitaria de 0.0001856 mm/mm. Estas cargas provocan un esfuerzo de flexión de 60.2 MPa. La deflexión siendo menor aún se puede mejorar reforzándolo con una placa en la zona donde aplica directamente la carga para disminuir más la deflexión que evite provocar una falla estructural prematura.

CONCLUSIÓN

Los métodos de integración para encontrar las deflexiones y pendientes de vigas son indispensables para el correcto funcionamiento de las estructuras y bastidores de máquinas. Los resultados aquí mostrados solo representan resultados parciales de este proyecto de investigación ya que hasta este punto representa un 60 % del avance. En cuestión de

las resistencias mecánicas de las vigas los factores de seguridad siguen muy altas lo que significa un área de oportunidad para el mejoramiento en los costes de fabricación seleccionando otras vigas de menor tamaño.

REFERENCIAS

- Casado Izquierdo, J.M. Estudios sobre movilidad cotidiana en México. REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES. Volumen XII núm. 273.
- Ordóñez Vera M. Falta adecuación para discapacitados. 2017. <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/10-2012-falta-adecuacion-para-discapacitados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). La discapacidad en México, datos al 2014 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. - México: INEGI, c2016.
- Yasuo W. 2014. "Machine base attachment device for elevator hoisting machine", US Patent 2017121151
- Masahiko H. 2014 "Machine room-less elevator". US Patent 2017107083
- Watson B and ZBGnien P. "Traction geared machine for elevator" US Patent 2017088400
- Luévanos Rojas, Arnulfo; (2011). Método de deflexión-pendiente para vigas estáticamente indeterminadas, considerando las deformaciones por cortante. Revista de Arquitectura e Ingeniería, Agosto-Sin mes
- Galán, M; Godina, J; (2011). Análisis cinemático y dinámico de sistema mecánico para silla de ruedas empleando multiplicadores de Lagrange. Científica, 15() 117-124. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.ox?id=61420811003>
- Hibbeler R, Mecánica de Materiales, 8va. Edición, 2011, Pearson Educacion, México, 880 páginas.

Formato para los Artículos del Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2017 (Graphik Regular 14 centrado)

A. ApellidoPat-ApellidoMat¹, B. ApellidoPat-ApellidoMat²
(texto centrado: Graphik Regular 10)

¹Institución de Procedencia del autor. Dirección, Municipio, Estado, País.

²Institución de Procedencia del Coautor. Dirección, Municipio, Estado, País. (texto centrado: Graphik Regular 9)

Recibido: Fecha; Aceptado: Fecha. (texto centrado: Graphik Regular 8. Uso exclusivo para la Universidad Politécnica de Pachuca)

Resumen (ÁREA TEMÁTICA: CBS, CCCF, CI)

El presente formato en Word es una guía básica para preparar los artículos para su publicación en el cuarto Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías 2017. Los trabajos como artículos en extenso deberán tener una extensión máxima de 5 cuartillas. El resumen no debe exceder las 250 palabras y tiene que dar a conocer los objetivos de la investigación, la metodología empleada, los resultados resumidos y la conclusión principal. El idioma oficial es el español, pero también serán aceptados trabajos en inglés. Incluya en su resumen, las palabras clave en orden alfabético y separado por comas. No se utilicen acrónimos ni se citen referencias en el resumen. Para todo el documento utilizar margen izquierdo de 25 mm, derecho de 20 mm, superior de 25 mm e inferior de 20 mm. Utilice la fuente Graphik Regular tamaño 9 para el resumen y para el texto principal. Se deberá indicar el área temática a la que pertenece la contribución, entre paréntesis y posterior a la palabra "Resumen" de la siguiente manera: **(CBS)** cuando el área sea Ciencias Biológicas y de la Salud; **(CCCF)** correspondiente a Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas; **(CI)** si pertenece a Ciencias de la Ingeniería.

Palabras clave: Proporcione de 3 a 5 palabras o frases clave, en orden alfabético, separadas con una coma.

Abstract (AREA)

These instructions give you guidelines for preparing paper for the fourth Multidisciplinary Iberoamerican Symposium on Sciences and Engineering 2017. Use this document as a template if you are using Microsoft Word 6.0 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. Be careful, because the electronic file of your paper will appear as you finally presented it. Define all symbols used in the abstract. Do not cite references in the abstract. This abstract does not have to exceed 250 words and must state the principal objectives of the investigation, describe the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions. Please include appropriate key words in your abstract, in alphabetical order, separated by commas. You must indicate the thematic area into parenthesis next to the word "Abstract" as is indicated: **(CBS)** for Biologic and Health Science; **(CCCF)** corresponding to Computing Sciences, Communications and Finances; **(CI)** if it belongs to Engineering Science.

Key words: About three to five key words or phrases in alphabetical order, separated by commas.

INTRODUCCIÓN

En esta primera parte de su artículo haga una breve introducción a su trabajo, sin extenderse en conceptos bien conocidos por todos. Para preparar su artículo se recomienda seguir fielmente estas instrucciones, pues su archivo electrónico aparecerá tal como usted lo presente.

Para enfatizar utilice *italicas*, no subraye. Defina todos los símbolos usados en la base de esta primera columna. Es muy importante incluir el artículo del trabajo en esta sección.

DESARROLLO INCLUYE: MATERIAL Y MÉTODOS; RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección y acorde al área temática, es muy importante describir las metodologías, procedimientos, reactivos y equipos utilizados en el trabajo.

Esta parte de desarrollo, también incluye la sección de Resultados y Discusión, las cuales pueden venir en una sola sección o separadas según convenga a los autores.

Figuras y Tablas

Asegúrese de que sus tablas y figuras sean claramente legibles y no sacrifique su tamaño, de ser necesario éste puede ocupar ambas columnas. El título o descripción de la tabla debe colocarse centrado, por arriba y en itálicas. (ver tabla 1). No abrevie "Tab.". Las tablas serán numeradas con números arábigos. Dé un espacioado anterior y posterior de 3 puntos a los textos interiores. Respecto a las figuras: coloque su título o descripción por debajo (ver fig. 1), no incluya descripciones como parte de ellas, no coloque descripciones en "cajas de texto" ligadas a las figuras, no ponga marcos alrededor de ellas.

Puede usar la abreviación "Fig." aún al iniciar una frase. Verifique que las tablas y figuras que usted menciona realmente estén incluidas en el trabajo, y colóquelas al inicio o al final de la columna.

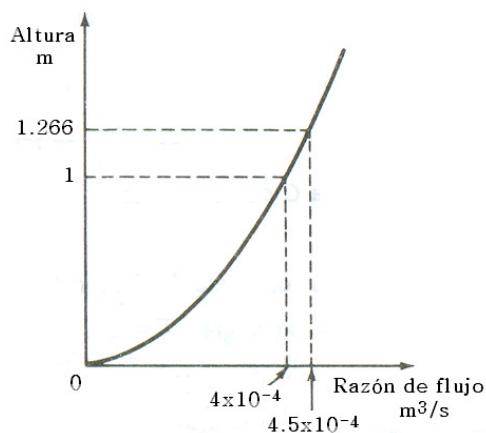


Fig. 1. Gráfica de un sistema de nivel de líquido.
(Note el centrado de esta descripción de la figura).

Tabla 1. Tamaño y estilo de fuente para los artículos.

Tamaño de letras (puntos)	Estilo de fuente		
	Normal	Negritas	Itálica
8	Subíndices y superíndices, referencias, pies de página.		Descripción de tablas y figuras (Arial)
10		Resumen, Abstract	
10	Texto principal, ecuaciones.	ENCABEZADOS	
11	Nombres de autores.	Sub-encabezados	
16		Título del Artículo	

Abreviaciones y Acrónimos

Defina las abreviaciones y los acrónimos desde la primera vez que se utilizan en el texto, aún después de que han sido definidos en el resumen. No use abreviaciones en el título a menos que sea inevitable.

Ecuaciones

Utilice el Editor de ecuaciones de Microsoft Word o el MathType (<http://www.mathtype.com>).

Numere las ecuaciones consecutivamente en paréntesis normal, en el margen derecho como en (1). Para escribir la ecuación, utilice el editor de ecuaciones (Clic izquierdo en barra de Herramientas| Personalizar | Comandos | Insertar | y arrastrar editor de ecuaciones a la barra de herramientas). Entonces seleccione el estilo de marcador "Ecuación". Presione la tecla tabuladora y escriba el número de la ecuación entre paréntesis. Utilice paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Puntualice las ecuaciones cuando forman parte de una frase: "En la ecuación (1) se describe..."

$$\int_0^{r_2} F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (1)$$

Asegúrese de que los símbolos de su ecuación han sido definidos antes o inmediatamente después de que aparece la ecuación. Refiérase a "(1)," no "Eq. (1)" o "ecuación (1)," exceptuando al iniciar una frase: "Ecuación (1) es....".

Unidades

Use el Sistema Internacional de Unidades SI. Puede utilizar unidades inglesas como unidades secundarias (entre paréntesis). Por ejemplo se puede escribir "15 Gb/cm² (100 Gb/in²)"; una excepción es cuando las unidades inglesas se usan para designar comercialmente un producto, tal como disquete de 3½", Pantalla LCD de 2.0", etc.

Otras Recomendaciones

Deje un espacio después de puntos y comas. Evite palabras inespecíficas tales como "Usando (1), fue calculado el potencial". [No queda claro quién o que fue usado (1)]. Escriba en su lugar,

"El potencial fue calculado utilizando (1)," o "Usando (1), calculamos el potencial."

Use un cero antes del punto decimal: "0.25," no ".25." Use "cm³," no "cc." Indicar dimensiones en cada cifra como "0.1 cm. × 0.2 cm.," no "0.1 × 0.2 cm²." La abreviación para segundos es "s," no "seg." No mezcle palabras completas con abreviaciones de unidades.

Si usted lo desea, puede escribir en la primera persona de singular o plural y utilizar la voz activa ("observé que..." u "observamos que..." en vez de "Se observó que..."). Cuide su ortografía.

CONCLUSIÓN

Una conclusión debe enfatizar los puntos principales del artículo. No repita el resumen como la conclusión. Una conclusión puede resaltar la importancia del trabajo o sugerir aplicaciones y trabajos complementarios.

APÉNDICES

Los apéndices, cuando sean necesarios, van antes de los reconocimientos.

RECONOCIMIENTOS

Use un solo encabezado para todos los reconocimientos. Evite expresiones tales como "Uno de los autores desea agradecer..." mejor escriba "Tal Autor agradece...."

REFERENCIAS

Para las citas a lo largo del documento, basarse en el estilo APA sexta edición, así como para colocar las diferentes fuentes de información en esta sección con tipo de letra Graphik Regular tamaño 8.

Apellidos paterno, Inicial(es) del nombre (en caso de dos o más autores, separar con coma los nombres). (Año). *Título del libro*. Edición. Editorial. Ciudad. Páginas.

Apellidos del autor, Inicial del nombre (en caso de dos o más autores, separar con punto y coma los nombres). (Año de publicación). "Título del artículo". *Titulo de la revista*. Volumen (No.) (ejemplo: Vol. 3(5). Páginas en las cuales está descrito el artículo (ejemplo: pp. 131-139).

Apellido del Autor, Inicial del nombre. (Año) (Fecha exacta de la consulta). *Dirección electrónica de la página Web*. Fecha de la consulta.

Universidad Politécnica de Pachuca

Remoción de Contaminantes Microbiológicos Presentes en Agua de Escorrentía Urbana Mediante Pavimentos Permeables Fotocatalíticos.
Ortega-Villar Rosangel, Coronel-Olivares Claudia, Lizárraga-Mendiola Liliana, Beltrán-Hernández Rosa Icela, Lucho-Constantino Carlos Alexander, Vázquez-Rodríguez Gabriela A.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-Columna con Biomasa Aerobia.
González-Carmona Aislinn Selene, Baños-Rodríguez Ubaldo.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Xilanisas de Microorganismos y su Aplicación en la Industria Alimentaria.
Bonnet Kassandra, Mendoza Bethsua, Hernández Carmin, Álvarez Jorge, Hernández Edna María
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.
Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, México.

Biosíntesis de Nanopartículas de ZnO con Extracto Acuoso de Mucílago de Opuntia Amychlaea.
Francisco-Escudero Juan, Villanueva-Ibáñez Maricela, Lucho-Constantino Carlos Alexander, Coronel-Olivares Claudia, Hernández-Pérez María De Los Ángeles, Flores-González Marco Antonio.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Liberación de Péptidos Antioxidantes por medio de la Hidrólisis Enzimática del Concentrado Proteico de Phaseolus vulgaris cv Negro Primavera-28.
Mendoza-Jiménez Y.L., Eusebio-Moreno J.C., Álvarez-García R., Abreu-Corona A., Téllez-Jurado A., Tovar-Jiménez X.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.
Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Electrocardiógrafo como Herramienta de Aprendizaje: Propuesta Preliminar.
Sosa Villaraux Aldo, Sandoval González Oscar Osvaldo, González Sánchez Blanca Estela, Flores Cuautle José De Jesús Agustín.
Instituto Tecnológico de Orizaba, México.

Ejercicios de Reeducación Postural para Aumento de Arco de Movimiento y Disminución del Dolor en Síndrome de Disfunción Temporomandibular.
Hernández-Pérez Mariana.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Sistema de Telemetría para una Red de Celdas Fotovoltaicas Instaladas en Invernadero Agrícola.
Granados-Pastrana Oswaldo Josue, Pérez-Pérez Eucario, Téllez-Jurado Alejandro, Ramos-Fernández Julio, Luna-Cruz David, Cervantes-Camacho Ilse, Robles-Camarillo Daniel.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.

Sistema Inteligente para Validar una Lista de Control de Acceso (ACL) en una Red de Comunicaciones.
Hernandez Talhia, Salazar Pedro, Soto Saul
Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, México.

Diseño y Desarrollo de un Sistema de Telemetría para el Internet de las Cosas en la Agricultura de Precisión.
Hernández-Salazar Jorge, Ramos-Fernández Julio, Márquez-Vera Marco, Pessel-Nathalie, Balmat Jean François.
Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, México.
University of South-Toulon-Var, France.

Análisis de la Estructura Base de un Elevador para Personas Discapacitadas en el Edificio K de la UTHH.
Hernández-Alvarado Oralio, Álvarez-Álvarez Joaquín, López-Zavala Adolfo.
Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, Hidalgo, México.