



*COMPILADORES*

Dra. Reyna Isabel Pizá Gutiérrez  
Mtra. Marisela González Román  
Dr. José Antonio Beristáin Jiménez

**Avances de Investigación de Cuerpos Académicos**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

2013, Instituto Tecnológico de Sonora.  
5 de Febrero, 818 sur, Colonia Centro,  
Ciudad Obregón, Sonora, México; 85000  
Web: [www.itson.mx](http://www.itson.mx)  
Email: [rectoria@itson.mx](mailto:rectoria@itson.mx)  
Teléfono: (644) 4109000

Primera edición 2013  
Hecho en México

ISBN: 978-607-609-071-8 (Edición impresa)  
978-607-609-072-5 (Edición electrónica)

Se prohíbe la reproducción total o parcial de la presente obra, así como su comunicación pública, divulgación o transmisión mediante cualquier sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito del Instituto Tecnológico de Sonora.

**Cómo citar un capítulo de este libro** (se muestra ejemplo de capítulo I):

Peñuelas, O., Arellano, M., Mungarro, C., Gómez, G. y Verdugo, E. (2013). *Sistemas integrados agro-acuícolas para la producción de tomate: experiencias del cuerpo académico de Biotecnología Agrícola*. En Pizá, R., González, M. y Beristáin, J. (Comp.). *Avances de Investigación de Cuerpos Académicos*. (pp. 9-20). México: ITSON.

*DIRECTORIO ITSON*

**Dr. Isidro Roberto Cruz Medina**  
Rector del Instituto Tecnológico de Sonora

**Mtro. Misael Marchena Morales**  
Secretaría de la Rectoría

**Dr. Jesús Héctor Hernández López**  
Vicerrectoría Académica

**Mtro. Jaime René Pablos Tavares**  
Vicerrectoría Administrativa

**Dra. Imelda Lorena Vázquez Jiménez**  
Dirección Académica de Ciencias Económico-Administrativas

**Dr. Joaquín Cortez González**  
Dirección Académica de Ingeniería y Tecnología

**Dr. Jaime Garatuza Payán**  
Dirección Académica de Recursos Naturales

**Dra. Guadalupe de la Paz Ross Argüelles**  
Dirección Académica de Ciencias Sociales y Humanidades

**Mtro. Daniel Antonio Rendón Chaidez**  
Dirección Unidad Navojoa

**Mtro. Mario Alberto Vázquez García**  
Dirección Unidad Guaymas

**COLABORADORES**

**Edición literaria**

Dr. Juan Francisco Hernández Chávez  
Dra. Sonia Verónica Mortis Lozoya  
Mtra. María Guadalupe Méndez Castillo  
Mtra. Marisela González Román  
Lic. Liliana Vizcarra Esquer  
Lic. Beatriz Eugenia Orduño Acosta

**Tecnología y diseño**

Lic. Beatriz Eugenia Orduño Acosta  
Alejandro Ayala Rodríguez

**Gestión editorial**

*Oficina de Producción de Obras Literarias y Científicas*  
Mtra. Marisela González Román

**Comité técnico científico**

Dr. Jesús Héctor Hernández López  
Dra. Reyna Isabel Pizá Gutiérrez  
Mtra. Marisela González Román  
Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

*COLABORADORES*

**Comité científico de arbitraje**

Dr. José Antonio Beristáin Jiménez

Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

Mtra. Claudia Álvarez Bernal

Mtra. Cecilia Ivonne Bojórquez Díaz

Dr. Adolfo Soto Cota

Mtra. María del Carmen Vásquez Torres

Mtra. Marisela González Román

Mtro. Javier Portugal Vásquez

Dr. Carlos Jesús Hinojosa Rodríguez

Mtra. Nora Edith González Navarro

Dr. Juan Francisco Hernández Chávez

Dr. Joel Angulo Armenta

Dra. Elizabeth Del Hierro Parra

Mtra. Isolina González Castro

## PRÓLOGO

Informar a la comunidad de la región y el mundo sobre los resultados que en ciencia y tecnología se obtienen en las universidades, es parte importante de los compromisos que en esencia se tienen contemplados en el Instituto Tecnológico de Sonora, hacerlo se convierte en una de las mejores formas de dar respuesta social, además de formar integralmente a los alumnos y acercarse a la comunidad con programas de apoyo en lo cultural y deportivo; así la comunicación de la ciencia puede contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La presente obra compila algunos de los avances que en materia de investigación han obtenido el último año los Cuerpos Académicos y Grupos disciplinares de nuestra universidad, algunos de ellos en forma interinstitucional, sea con otras instituciones educativas u organismos productivos.

Esperamos que las innovaciones y resultados que se presentan aquí, sean útiles a las áreas interesadas y a usted como lector.

**Dr. Jesús Héctor Hernández López**

Vicerrector Académico

Instituto Tecnológico de Sonora

Junio, 2013

## ÍNDICE

- Capítulo I. Sistemas integrados agro-acuícolas para la producción de tomate: experiencias del cuerpo académico de Biotecnología Agrícola.** Ofelda Peñuelas Rubio, Maritza Arellano Gil, Catalina Mungarro Ibarra, Gilberto Gómez García y Edgar Verdugo González. **9**
- Capítulo II. Biocompuestos activos de la microalga marina *Tetraselmis suecica* inducidos por la adición de estroncio al medio de cultivo.** Ruth Gabriela Ulloa Mercado, Pablo Gortáres Moroyoqui, Ana María Rentería Mexía, Denisse Serrano Palacios y Edna Rosalba Meza Escalante. **21**
- Capítulo III. Producción de enzimas de hongos filamentosos.** María Isabel Estrada Alvarado, Laura Elisa Gassos Ortega, Luis Alberto Cira-Chávez, Lourdes Mariana Díaz Tenorio, Edna Abigail Hernández Corral y Saúl Ruiz Cruz. **33**
- Capítulo IV. Niveles de plaguicidas organoclorados en el agua de la Bahía de Yavaros y Bahía de Lobos, Sonora y su impacto en el hábitat de *Artemia franciscana*.** José de Jesús Balderas Cortés, José Luis Antonio Solórzano Meza, María Mercedes Meza Montenegro, Iram Mondaca Fernández y Roberto Rodríguez Ramírez. **46**
- Capítulo V. Frecuencia de consumo de bebidas energizantes en estudiantes.** Laura Elisa Gassós Ortega, Yarir del Carmen Ibarra Gil, María Isabel Estrada Alvarado, Raúl Holguín Soto, Blanca Lorenia Reyes Blanco. **55**
- Capítulo VI. Evaluación de la ingesta dietaria y composición corporal de un equipo universitario femenino de balonmano.** Araceli Serna Gutiérrez, Arturo Osorio Gutiérrez, Hebert David Quintero Portillo, Pedro Julian Flores Moreno e Iván de Jesús Toledo Domínguez. **64**
- Capítulo VII. Validación de la Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADs) en adultos mayores sonorenses.** Christian Oswaldo Acosta Quiroz, Javier José Vales García, Dulce María de Jesús Serrano Encinas, Sonia Beatriz Echeverría Castro y Raquel García Flores. **77**
- Capítulo VIII. Percepción de los estudiantes sobre la evaluación del desempeño docente, aplicada en línea, en una institución de educación superior del sur de Sonora.** María Luisa Madueño Serrano, Lorena Márquez Ibarra, Reyna Isabel Pizá Gutiérrez, Lorena Calderón Soto y Marisela González Román. **91**

- Capítulo IX. Utilización del modelo visual Modflow para predicción del bombeo de equilibrio en el acuífero del Valle de Boca Abierta, Sonora.** Carlos Velázquez Nieblas, Luis Alonso Islas Escalante, Armando Gabriel Canales Elorduy y David Heberto Encinas Yepiz. **108**
- Capítulo X. Diseño y construcción de un colector solar para cocinar.** José Manuel Campoy Salguero, Andrés Othón Pizarro Lerma, Miguel Ángel Bernal Reza y Adolfo Soto Cota. **121**
- Capítulo XI. Verificación de las condiciones de seguridad e higiene en una Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) de PEMEX Refinación.** René Daniel Fornés Rivera, Moisés Ricardo Larios Ibarra, Adolfo Cano Carrasco, Rogelio Antonio Serrano Valenzuela y Francisco Javier Romero Pardini. **136**
- Capítulo XII. Mitigación de sags en la red trifásica utilizando STATCOM'S conectados en estrella.** Luis Enrique Soto Mata, Javier Pérez Ramírez, José Antonio Beristáin Jiménez y Armando Ambrosio Lopez. **149**
- Capítulo XIII. Diseño de un STATCOM para compensar el factor de potencia eléctrica de una línea trifásica de 220 V.** Andrés Othón Pizarro Lerma, Javier Pérez Ramírez, José Antonio Beristáin Jiménez, Armando Ambrosio López y Enrique Aragón Millanes. **160**
- Capítulo XIV. Manual de procedimiento para la implementación del sistema CFEmático.Net V2.3.8.Msi para cajeros de auto - atención en Comisión Federal de Electricidad.** Carlos Jesús Hinojosa Rodríguez, Ramón Rene Palacio Cinco, Egren Ala Soto Sandoval, Alberto Galván Corral y Erica Cecilia Ruíz Ibarra. **173**

**Capítulo I. Sistemas integrados agro-acuícolas para la producción de tomate:  
experiencias del cuerpo académico de Biotecnología Agrícola**

Ofelda Peñuelas Rubio, Maritza Arellano Gil, Catalina Mungarro Ibarra, Gilberto  
Gómez García y Edgar Verdugo González  
Dirección de Recursos Naturales  
Instituto Tecnológico de Sonora.  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [ofelda.penuelas@itson.edu.mx](mailto:ofelda.penuelas@itson.edu.mx)

*Resumen*

Las condiciones áridas del Noroeste de México y la escasa disposición de agua proveniente de los acuíferos, hacen indispensable la búsqueda de alternativas eficientes para el aprovechamiento de los recursos naturales. En este contexto, la integración de los sistemas agro-acuícolas brinda la posibilidad de hacer un mejor uso de la energía y los recursos naturales, puesto que los desechos producidos en el sistema acuícola podrían utilizarse como entrada al sistema vegetal. La presente investigación muestra los avances en el desarrollo de estas metodologías para la producción de tilapia y tomate bajo condiciones experimentales. El sistema de producción integrado acuícola-agrícola se conformó por un sistema acuícola y un sistema NFT (Técnica de Película Nutritiva Laminar) para la parte vegetal. Se evaluaron variables de desarrollo vegetativo y crecimiento de los peces, así como parámetros ambientales. Se probaron cuatro tratamientos con 3 repeticiones y 10 unidades experimentales. El diseño experimental fue anidado y se aplicó un análisis de varianza y la prueba del LSD con un nivel de significancia de 95% en el software Statgraphics plus 4.0. Los resultados demuestran que es viable emplear sistemas integrados que permitan una mejora en cuanto al desarrollo vegetativo de plantas de tomate y el crecimiento de tilapias.

*Introducción*

Las condiciones áridas del Noroeste de México y la escasa disposición de agua proveniente de los acuíferos, hacen indispensable la búsqueda de alternativas eficientes para el aprovechamiento de los recursos naturales; en el Valle del Yaqui, la actividad agrícola se rige bajo dichos conceptos, por lo que los productores se ven obligados a adoptar la agricultura protegida en menor o mayor escala y los sistemas de riego presurizados. No obstante, la mayoría de las empresas sociales o privadas dedicadas a la horticultura se enfrentan a diversas problemáticas, entre las cuales prevalece la cantidad de insumos agrícolas que se requieren, incidiendo en altos costos de producción,

deterioro ambiental y problemas para la obtención de alimentos inocuos. En los últimos años, esta región agrícola ha implementado estrategias para un manejo sustentable de los cultivos agrícolas: alternativas de fertilización, estimulación y manejo de la raíz, control biológico de patógenos y en general, tecnologías para optimizar el desarrollo y producción vegetal, que se consideran racionales, no agresivas al medio ambiente y a la salud de los implicados en el manejo, aplicación y consumo de los productos hortícolas. Entre estos esquemas de producción, se presentan los sistemas acuapónicos, que son aquellos que integran a la acuicultura y la agricultura. Esta integración da la posibilidad de hacer un mejor uso de la energía y los recursos naturales, ya que el uso de los desechos producidos en el sistema acuícola pueden utilizarse como entrada al sistema vegetal, mejorando la productividad y abatir costos (TGMFA, 2012). Ante esta situación, se desarrolló la presente investigación que pretende evaluar las tecnologías de acuaponia en condiciones experimentales, para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) en sistemas integrados a la producción de hortalizas como tomate, por medio del diseño-calibración del sistema acuapónico y el monitoreo del desarrollo fisiológico de las especies en estudio.

### *Fundamentación teórica*

La agricultura orgánica comprende aquellos sistemas de producción agropecuaria que no utilizan productos químicos sintéticos, minimizando el impacto ambiental y produciendo alimentos libres de sustancias perjudiciales para la salud de los consumidores. En Austria y en Suiza, este tipo de agricultura ha llegado a representar hasta un 10% del sistema alimentario, y en Estados Unidos de América, Francia, Japón y Singapur se están registrando tasas de crecimiento anual que alcanzan el 20%. Entre los objetivos que persigue la agricultura orgánica son: lograr una interacción óptima entre la tierra, los animales y las plantas; conservar la fertilidad natural del suelo y los ciclos de energía; potenciar la biodiversidad; disminuir costos de producción y ser amigable con el ambiente (Food and Agricultural Organization [FAO], 2011).

Los Sistemas Acuícolas de Recirculación (SAR), consisten en un conjunto organizado de procesos complementarios que permiten que al menos una parte del agua que sale de un tanque de cultivo de peces a ser reacondicionado y posteriormente se reutiliza en el tanque de cultivo de peces mismo u otros tanques de cultivo de peces (Timmons *et al.*, 2002). Los sistemas de recirculación para mantener y cultivar peces han sido utilizados por los investigadores de la pesca durante más de tres décadas. Los intentos de avanzar en estos sistemas para la producción de pescado a escala comercial de alimentos han aumentado drásticamente en la última década, a pesar de que algunos grandes sistemas están en funcionamiento (Dunning *et al.*, 1998).

Los sistemas acuapónicos son aquellos que integran la acuicultura y la agricultura. Esta integración da la posibilidad de hacer un mejor uso de la energía y los recursos naturales, ya que el uso de los desechos producidos en el sistema acuícola pueden utilizarse como entrada a nuestro sistema, permitiendo mejorar la productividad y abatir costos (TGMFA, 2012). Los sistemas de recirculación por medio de Biofloc, bacterias nitrificantes y acuaponia son técnicas de aprovechamiento que hacen más eficiente el consumo de los desechos del sistema acuícola. Los sistemas de Biofloc, convierten los desechos en biomasa bacteriana, las bacterias nitrificantes permiten la conversión de nitrógeno amoniacal a nitratos, por último los sistemas acuapónicos se basan en sistemas de recirculación pero con hortalizas, las cuales se alimentan de los desechos de los organismos acuáticos, elevando rentabilidad de las empresas hasta en un 65% (IA, 2011).

La factibilidad de la integración de los sistemas acuapónicos se ha probado desde hace algunos años cuando aún no se tenía la certeza del destino de los nutrientes, sin embargo al evaluar un sistema experimental con 40 plantas de pepino sobre dos camas de arena y una densidad de 0.6 peces por litro, se produjeron alrededor de 5 kg de pepino y los peces crecieron hasta 25 gr en 75 días; esto nos indica que los compuestos nitrogenados fueron absorbidos por las plantas y se recirculó agua sin niveles peligrosos de amonio y nitritos para los peces (García *et al.*, 2005). Respecto al gasto de agua, Ramírez *et al.*, en el 2008, determinaron que al comparar hidroponía con acuaponia, se

requieren 600 y 500 litros por 100 dólares de valor comercial de lechuga respectivamente, lo cual representa ahorro de agua y minimización de desechos, además de la doble producción: plantas y peces.

Actualmente existen casos de éxito comercial, un ejemplo de esto es la empresa Mexicana denominada “Bofish” en Jalisco que maneja la técnica de “Biofloc”, que permite que las algas crezcan en los estanques (peceras) con el fin de reducir los gases generados como amoníaco-nitrogenado y producir oxígeno, minimizando así la necesidad de airear el agua durante el día y suministrando comida para los peces (Stover, 2009); otro ejemplo claro es “Acuicultura del Desierto”, en Baja California, actualmente produce tres toneladas de tilapia por ciclo y de 300 a 350 gramos de albahaca por metro cuadrado a la semana; incluso utilizan trucha para cultivar otras hierbas y verduras (Falcon, 2010).

La integración agro-acuícola en ambiente protegido mejora la ecoeficiencia en el uso de nutrientes y disminuye la demanda de plaguicidas, mientras que la integración de la acuicultura con la hidroponía protegida puede lograr mejor ecoeficiencia y productos de alta inocuidad. Aunque esta integración promete ventajas, debe enfrentar retos sanitarios y fitosanitarios originados por el reciclamiento de agua entre la engorda de animales y el crecimiento de plantas.

### *Metodología*

Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Acuicultura del Instituto Tecnológico de Sonora, Unidad Centro, Ciudad Obregón, Sonora.

### *Sistema acuapónico*

El sistema de producción integrado acuícola-agrícola fue conformado por un sistema acuícola y un sistema NFT (Técnica de Película Nutritiva Laminar) para la parte vegetal, a continuación se describen los sistemas por separado.

### Sistema acuícola

El sistema acuícola de recirculación que se utilizó fue el fish farm™ de aquatic ecosystems. Conformado básicamente por dos tanques de 1.8m<sup>3</sup> y una unidad de filtración completa que utiliza un sistema de doble drenaje para separar y eliminar los sólidos, además de un bioreactor de lecho móvil.

### Sistema vegetal

En la parte vegetal se contó con dos secciones con 6 tubos de pvc de 4", cada una totalizando 12 tubos, que representan 4 tratamientos a manera de repetición y 10 cavidades para una planta en cada tubo. La luz utilizada fue luz blanca fluorescente, utilizando lámparas ahorradoras de 45 watts, proporcionando 3500 luxes medidos con un luxómetro Hanna HI 97500. La temperatura y humedad relativa del laboratorio fue medida con un higrómetro digital Taylor modelo 1522.

### Biometrías y alimentación de los peces

Al inicio y final del experimento se determinó la biomasa de los organismos acuáticos a utilizar. Para esto se utilizó una red de arrastre para poder capturar a los peces que fueron pesados en una balanza semi analítica OHAUS, y obtener el peso total y el número de peces a utilizar en el experimento. El alimento balanceado utilizado en el bioensayo tuvo 25% de proteína (NUTRIPEC de Purina), alimentando dos veces al día con un total de 100 gramos de alimento diario.

### Calidad del agua

Las lecturas de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura se realizaron según las especificaciones del oxímetro multifuncional YSI modelo 85. Para el pH se utilizó el potenciómetro HI 98128 de Hanna Instruments, con mediciones diarias a los tanques de cultivo y al biofiltro.

### Parámetros fisiológicos de las plantas

Para los parámetros fisiológicos de las plantas se realizaron semanalmente, para la altura se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, utilizando una cinta métrica.

Tasa relativa de crecimiento (TRC) se realizaron los cálculos correspondientes:  $TRC = (Af - Ai) / \text{número de días transcurridos}$ , donde: Af=altura final, Ai=altura inicial.

Clorofila. Se utilizó el spad 502 plus de Konica Minolta, resultados expresados en unidades clorofila (UC).

Volumen radical. Se realizó por desplazamiento de volumen. Para esto la raíz se retiró de la planta y se colocó dentro de una probeta de 500 ml a un volumen de agua conocido, registrando el volumen desplazado al sumergir en su totalidad la raíz.

Peso aéreo. Se midieron al final del experimento, extrayendo la planta en su totalidad del sistema NFT, después se retiró la raíz de la parte aérea haciendo uso de una navaja y se registró el peso fresco de estos por separado en una balanza semi analítica. Posteriormente se colocó la parte aérea y raíz en bolsas de papel estraza, y se colocaron en un horno a 65°C hasta obtener peso constante (Calderón y Pavlova, 2004).

### Diseño experimental

Los tratamientos que probados fueron 4 con 3 repeticiones y 10 unidades en cada repetición. Los tratamientos se aplicarán por medio de un sistema hidropónico con NTF, los tratamientos son los siguientes:

*Tratamiento 1:* Agua procedente del biofiltro del SAR 150 L.

*Tratamiento 2:* Agua del biofiltro del SAT 150 L. más la adición de humus de lombriz semanalmente.

*Tratamiento 3:* Solución Steiner, (1984) modificada citado por Alcántar y Trejo en el 2007 (Sin adición de Hierro).

*Tratamiento 4:* Solución orgánica, se utilizaran dos productos comerciales, Humufert y Secure, a una concentración de 3.96 mL/L.

El diseño experimental fue anidado y se aplicó un análisis de varianza y la prueba del LSD con un nivel de significancia de 95% en el software Statgraphics plus 4.0.

### Resultados y discusión

#### Producción acuícola

El crecimiento y la producción de tilapia en el sistema acuapónico se muestra en el cuadro 1. La biomasa cosechada en un lapso de 55 días de cultivo fue de 7.01 kg.m<sup>3</sup> con una supervivencia de 96%. El factor de conversión alimenticia (FCA) fue de 2 kg por un kilogramo de biomasa ganada en el sistema.

Cuadro 1. Valores de producción de tilapia (*Oreochromis spp.*) en un SAR.

Tanque	Biomasa inicial	Biomasa final	Densidad de cultivo (No/m <sup>3</sup> )	Tasa de crecimiento (gr/día)	FCA	Supervivencia (%)
1	3.633	6.507	43	2.053	1.9	92.208
2	3.504	6.115	43	1.865	2.1	100
Promedio	3.568	6.311	43	2.985	2	96.104

Rakocy *et al.* (2006), reportan una mejor tasa de crecimiento para la producción de tilapia del Nilo y roja, con valores de 4.4 y 2.7 g.d<sup>-1</sup> respectivamente. Para el caso de nuestro experimento se emplearon tilapias de la especie *Niloticus* y *Mossambicus X spp* en un solo sistema acuícola, caso contrario para los experimentos de Rakocy *et al.* (2006) que se realizaron por separado. El factor de conversión alimenticia fue menor al reportado por estos autores, siendo de 1.7 y 1.8 g.d<sup>-1</sup> para las especies mencionadas respectivamente. Cabe mencionar que la densidad de cultivo fue mayor a la que se utilizó en nuestro sistema, con una densidad de 77 y 154 peces por metro cubico. Al-Hafedh y Alam, (2007), trabajaron con una densidad de 181 peces por metro cubico con tilapia del Nilo. El factor de conversión alimenticia fue de 1.89 siendo mejor que al

obtenido en nuestro ensayo, sin embargo la tasa de crecimiento que obtuvimos fue mayor a la reportada por los autores, siendo de 1.34 contra 2.985 g.día<sup>-1</sup>. Para la supervivencia fue un valor similar con un porcentaje de 96.53.

#### Calidad del agua y parámetros climáticos

El ajuste del pH fue en base al criterio de (Salunkhe y Kadam, 1998). Siendo en un rango de 6 a 7. Los valores de pH en los tratamientos 1,2,3 y 4, fue de 6.62(±0.5),6.59(±0.49),6.30(±0.32) y 6.70(±0.56), manteniéndose en el rango ideal. El pH es un parámetro importante para las plantas, ya que la solubilidad de nutrimentos como Fe, Mn, Cu, Zn, Mo y P se ve afectada por el pH. Valores en el rango de 5.5 a 6.5 proporcionan una disponibilidad aceptable (Alcántar y Trejo, 2007). La conductividad eléctrica para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, fue 946.7(±152.47) uS,897.7(105.55±) S/cm,1024.1(±110.43) S/cm y 1037.3(±108.04) S/cm respectivamente. Alcántar y Trejo, (2007), mencionan para el rendimiento potencial del 100% del cultivo de tomate, una conductividad eléctrica del agua de 1700 S/cm y salinidad máxima para inhibir el desarrollo vegetativo de 8400 S/cm. La temperatura y la humedad relativa en el laboratorio se mantuvieron dentro del rango ideal para el cultivo de tomate 29.287°C (±1.075) y 75% (± 10.0) respectivamente. Salunkhe y Kadam (1998), mencionan que el tomate es un cultivo resistente al calor, sequía y crece en un amplio rango de temperatura 18-30°C. Asimismo la humedad relativa óptima oscila entre 60 y 80 según Esau (1977).

#### Parámetros fisiológicos de las plantas

El efecto de los cuatro tratamientos en la altura del cultivo de tomate durante los 30 días de cultivo se muestra en la Figura 1 A).Se observó una tendencia similar en el desarrollo del cultivo bajo los tratamientos 1,2 y 3. Caso contrario para el tratamiento 4 al presentar 36.87 (±4.65) cm de altura. Los tratamientos con mayor altura fueron el 1 y 2, con valores de 74.63 (±10.66) y 74.9 (±12.57) cm respectivamente. Tales tratamientos

no presentaron diferencia significativa entre ellos, sin embargo si presentaron en comparación a los otros tratamientos evaluados.

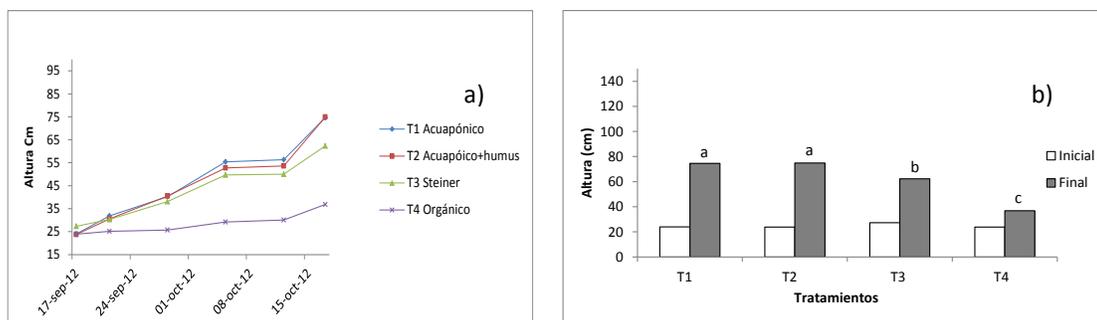


Figura 1. Efecto de la aplicación de 4 tratamientos en un cultivo de tomate en fase de arranque. a) Altura graficada con respecto el tiempo. b) Altura inicial y final del cultivo de tomate. LSD 95%.

La tasa relativa de crecimiento (TRC) a los 30 días del cultivo bajo el efecto de los cuatro tratamientos se muestra en la Tabla 2. Para el tratamiento 1 y 2 no se encontraron diferencias significativas y tuvieron la tasa de crecimiento más elevada, sin embargo estos presentaron diferencia ante los demás tratamientos evaluados.

Tabla 2 . Tasas de crecimiento relativo de los tratamientos utilizados en la producción de tomate

Tratamiento	Tasa relativa de crecimiento (TRC) cm.día <sup>-1</sup>
T1 Acuapónico	1.68 a*
T2 Acuapónico + humus	1.70 a
T3 Steiner	1.23 b
T Orgánico	0.43 c

\*Letra distinta en cada valor de las columnas presentan diferencia significativa según la prueba LSD  $P \leq 0.05$

En la Tabla 3 se muestran los parámetros fisiológicos obtenidos de la parte aérea de la planta. Los tratamientos 1, 2 y 4 presentaron la mayor cantidad de clorofila representado en unidades Spad sin diferencia significativa. Los valores obtenidos son similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (1998). Estos autores estimaron la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate utilizando el Spad 502 y encontraron una correlación de UC entre clorofila y nitrógeno, con valores de 0.96 para ambas variables. Valores de 44.68 a 56.11 UC fueron los obtenidos en su estudio.

Con respecto el número de hojas el tratamiento 4 fue el único que presentó diferencia significativa. Los datos obtenidos por los tratamientos restantes son inferiores al reportado por Chirinos et al. (1996), quienes caracterizaron el desarrollo de la planta de tomate en condiciones de campo. El valor promedio obtenido por los autores en fase de floración fue de 23 hojas por plantas, sin embargo los días transcurridos postrasplante para alcanzar floración fue igual al obtenido en este ensayo.

Dado que el número de hojas fue menor al reportado por los autores mencionados, posiblemente se atribuya al tipo de luz empleada. La luz fluorescente aumenta los niveles de flujo de fotones fotosintéticos pero contienen longitudes de onda innecesarios que se encuentran fuera del espectro de la radiación fotosintéticamente activa, dando como resultado luz de baja calidad para promover el crecimiento (Kim *et al.*, 2004).

La ganancia de biomasa aérea (Tabla 3) fue mayor para los tratamientos 1 y 2 presentando diferencia significativa con respecto lo demás tratamientos evaluados. Seguido por tratamiento 3 y el 4 quienes mostraron diferencias significativas entre ambos.

Tabla 3. Parámetros fisiológicos de la respuesta del cultivo de tomate bajo cuatro tratamientos. (Parte aérea).

Tratamientos	Clorofila (U spad)	No. De hojas	Peso aéreo (g)	Peso seco aéreo (g)
T1 Acuapónico	42.16 a*	14 a	29.40 a	15.13 a
T2 Acuapónico con humus	42.24 a	15 a	31.07 a	15.11 a
T3 Steiner (1984)	36.04 b	14 a	17.74 b	14.45 b
T4 Orgánico	41.12 a	9 b	13.53 c	6.09 c

\*Letra distinta en cada valor de las columnas presentan diferencia significativa según la prueba LSD  $P \leq 0.05$

Los valores obtenidos en el presente ensayo son similares a los obtenidos por Klapwijk Y de Lint (1977), quienes evaluaron el crecimiento de plantas jóvenes de

tomate desde su emergencia hasta floración. La biomasa aérea máxima obtenida en sus estudios fue de 30 gramos. La biomasa radical producida fue mayor en el tratamiento 2, seguido por el tratamiento 1. Los tratamientos 3 y 4 no presentaron diferencias significativas. Los tratamientos 1,2 y 3 no presentaron diferencia significativa con respecto la longitud de la raíz. Con respecto el volumen radical el tratamiento 1 fue igual al 2 y 4. Sin embargo el tratamiento 2 presento diferencia significativa mayor a los demás tratamientos.

### *Conclusiones*

El experimento realizado permitió la evaluación de las tecnologías de acuaponia en condiciones experimentales, para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) y el desarrollo vegetativo de plantas de tomate, logrando la calibración del sistema acuapónico y el monitoreo del desarrollo fisiológico de las especies en estudio. El desarrollo de estos sistemas integrados agro-acuícolas favorece la formación de un grupo de trabajo multidisciplinario, orientado a la integración agro-acuícola para la adaptación y transferencia de tecnologías en el campo de la acuicultura e hidroponia, formando estudiantes de licenciatura y maestría capaces de desarrollar sistemas productivos acuapónicos.

### *Referencias*

- Alcántar, G. & Trejo, L. (2007). Principios de la hidroponía y del fertirriego: Nutrición de cultivos. Mundi Prensa Editorial. México. 374-438p
- Calderón F. y Pavlova, M. 2004. Análisis foliar, análisis de plantas y análisis de tejidos vegetales. 15 Noviembre 2012.  
[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_Foliar/Metodos\\_Analisis\\_Foliales.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_Foliar/Metodos_Analisis_Foliales.htm)
- Chirinos, D., Geraud, F., Vergara, J., Marín, M. & Chirinos, D. (1996). Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Rio Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. III. Arquitectura de la planta. Revista de la Facultad de Agronomía.(LUZ) 13: 25–34.

- Esau, K. (1977). Anatomía de las plantas con semilla. Ed. Hemisferio Sur.
- Food and Agricultural Organization. (2012). Market reports tilapia. En:  
[www.globefish.org/](http://www.globefish.org/)
- González, A. & Ruz, J. (1999). Efecto de la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial. *Agricultura técnica*. 59 (4): 319-330.
- Kim, S.J., Hahn, E.J., Heo, J.W. & Paek, K.Y., 2004. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. *Science Horticulture* 101: 143–15.
- Klapwijk, D. & De Lint, P. (1977). Growth and development of young tomato plants. *ISHS Acta Horticulturae* 51: Symposium on protected cultivation of Flowers and vegetables.
- Rakocy J., Masser, M. & Losordo, T. (2006) .Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center. No.454.
- Salunkhe, D. & S. Kadam, S. (1998). Handbook of vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and processing. Taylor and Francis Group. United States. 171-201p

## Capítulo II. Biocompuestos activos de la microalga marina *Tetraselmis suecica* inducidos por la adición de estroncio al medio de cultivo

Ruth Gabriela Ulloa Mercado<sup>1</sup>, Pablo Gortáres Moroyoqui<sup>1</sup>, Ana María Rentería Mexía<sup>1</sup>,  
Denisse Serrano Palacios<sup>2</sup> y Edna Rosalba Meza Escalante<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias,

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [ruth.ulloa@itson.edu.mx](mailto:ruth.ulloa@itson.edu.mx)

### Resumen

Las microalgas son organismos unicelulares con capacidad fotosintética. Se encuentran en ambientes de agua dulce y agua salada. En los últimos años, el interés por el estudio y cultivo de microalgas ha ido en aumento, debido a que representan una fuente natural de compuestos bioactivos y/o biomoléculas con aplicaciones en diversas áreas: salud, farmacéutica, acuicultura, energía. Además de extraer compuestos como carotenos, antioxidantes, tocoferoles, clorofila, ácidos grasos omega 3 y 6, los cultivos de microalgas se perfilan como una de las soluciones para la crisis de energéticos fósiles, pues algunas especies sintetizan y acumulan lípidos, hasta el 60% de su peso, siendo la materia prima para la producción de biodiesel. Este trabajo se realizó como parte de los proyectos que se desarrollan en el grupo disciplinar de Bioprocesos y Bioproductos del ITSON. Se cultivó la microalga marina *Tetraselmis suecica* para evaluar su actividad antioxidante, así como la correlación con el contenido de polifenoles. Al adicionar estroncio a la formulación del medio de cultivo se favoreció claramente la actividad antioxidante, medida como actividad antirradicalaria del DPPH. Además de que a concentraciones menores de estroncio se mejoró la densidad celular en los cultivos que se establecieron en régimen semicontinuo, obteniéndose hasta  $7.0 \pm 0.9 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup>. Finalmente se estableció que la adición de estroncio al medio de cultivo a concentración de 0.1 mM, potenció el desarrollo e indujo una mayor producción celular, mientras que a una concentración de estroncio de 10 mM induce mayor actividad antioxidante.

### Introducción

Uno de los organismos marinos más interesantes y diversos son las microalgas. La ventaja de trabajar con estos organismos es que se puede inducir la producción de metabolitos de interés mediante la modificación de las condiciones de crecimiento.

Las microalgas son algas unicelulares que existen individualmente o en grupos y son consideradas uno de los organismos vivos más antiguos. Son la base de la cadena

alimentaria en los sistemas acuáticos, formando el fitoplancton (Satyanarayana *et al.*, 2011), y son responsables de más del 50% de la productividad fotosintética primaria en la tierra, representando fábricas solares para un amplio rango de productos potencialmente benéficos (Milledge, 2011). La fotosíntesis es un proceso que usa la energía de la luz solar junto con agua y dióxido de carbono para producir oxígeno y carbohidratos, y convierte la energía solar en energía química (Hosikian *et al.*, 2010).

En vista de que las microalgas tienen mayor capacidad fotosintética que las plantas, son capaces de sintetizar un gran número de sustancias. Hasta la fecha, estos microorganismos han sido poco explorados, sobre todo los de origen marino, representando una oportunidad para descubrir nuevos metabolitos y producirlos de forma eficiente y económica. La importancia de los recursos marinos, la diversidad de las especies de microalgas que existen y la facilidad de su cultivo puede ser la solución a la necesidad de nuevos ingredientes funcionales de origen natural. Estos recursos constituyen ahora la base de un amplio rango de aplicaciones biotecnológicas (Guedes *et al.*, 2011).

Por otra parte, la versatilidad del metabolismo de las microalgas las hace extremadamente interesantes; además de ser la biomasa que presenta un crecimiento más rápido, su cultivo controlado supone ventajas relativas a su capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub>, acumulación de lípidos (para producción de biodiesel), producción de fitometabolitos (para una nueva generación de productos farmacéuticos) y fitodepuración (Belotti *et al.*, 2010).

En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue mejorar la producción de biomasa de la microalga marina *Tetraselmis suecica* y en consecuencia incrementar la producción de compuestos bioactivos antioxidantes, mediante la modificación del medio de cultivo.

### *Fundamentación teórica*

La productividad y la composición bioquímica de las microalgas depende en gran medida del modo de cultivo, la composición del medio y el perfil de nutrientes que

permiten incrementar o inhibir el crecimiento mediante la optimización de factores como el control de la concentración de nitrógeno, intensidad luminosa, temperatura, salinidad, concentración de CO<sub>2</sub> y el método de cosecha (Brennan y Owende, 2010). Estos microorganismos poseen la ventaja extra de poseer un metabolismo flexible, aunque este hecho puede conllevar la dificultad de optimización de los procesos de producción de compuestos bioactivos, ya que su estado fisiológico será decisivo para incrementar o disminuir el rendimiento final (ej. estresado vs. no estresados). Por lo tanto, su metabolismo secundario puede ser fácilmente modulable por factores de estrés aplicados externamente, por ejemplo con la deficiencia de la fuente de nitrógeno (Guedes *et al.*, 2010).

La biotecnología de microalgas ha sido desarrollada para diferentes aplicaciones comerciales en sectores tan diversos como el alimentario, energético, farmacéutico, sanitario y medioambiental (Harun *et al.*, 2010). Como organismos fotosintéticos que son, las microalgas contienen clorofila que puede ser usada para alimentos y cosméticos.

Adicionalmente, las microalgas tienen aplicación como biofertilizantes y su uso se ha extendido al tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes químicos como nitritos, nitratos, fósforo, metales pesados (Cr<sup>+3</sup>, Cd<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup> y otros) y contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos, fenoles y disolventes orgánicos, además de eliminar los patógenos del agua residual (Brennan y Owende, 2010).

También se ha demostrado que ciertas especies de microalgas producen diferentes compuestos con actividad antibacteriana, antiviral, anticancerígena, antioxidante y antifúngica (Rodríguez-Meizoso *et al.*, 2010).

Por otra parte, el cultivo de microalgas demanda la presencia de nutrientes para su crecimiento. Se tienen los macronutrientes que son esenciales para las microalgas en cantidades de gramos por litro de medio de cultivo y son necesarios para la síntesis de los compuestos celulares, ya que forman parte de su estructura. Los micronutrientes son aquellos que son requeridos por las microalgas en cantidades de mg ó µg, y que juegan un papel crucial para el adecuado funcionamiento enzimático celular. En estos últimos

es donde queda englobado el estroncio, que aunque no se asocia hasta el momento con el crecimiento o modificación de la composición bioquímica de las microalgas, sí se ha probado la capacidad de bioacumulación de este metal en microorganismos, principalmente bacterias, levaduras y microalgas, un hecho que resulta de especial interés de biorremediación de aguas contaminadas con metales pesados (Faison *et al.*, 1990; Avery *et al.*, 1999).

### Metodología

El medio de cultivo control utilizado es agua de mar con salinidad del 3.5%. El agua se esterilizó en autoclave a 15 lb/pulg<sup>2</sup> durante 20 min; una vez frío se le agregó la solución estéril de nutrientes. Esta solución contiene macroelementos como NaNO<sub>3</sub> 4 mmol·L<sup>-1</sup> y NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.2 mmol·L<sup>-1</sup> y oligoelementos: ZnCl<sub>2</sub>, 2 μmol·L<sup>-1</sup>; MnCl<sub>2</sub>, 2 μmol·L<sup>-1</sup>; Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 2 μmol·L<sup>-1</sup>; CoCl<sub>3</sub>, 0.2 μmol·L<sup>-1</sup>; CuSO<sub>4</sub>, 0.2 μmol·L<sup>-1</sup>; citrato férrico, 40 μmol·L<sup>-1</sup>; tiamina, 70 μg·L<sup>-1</sup>; biotina, 20 μg·L<sup>-1</sup>; cianocobalamina, 6 μg·L<sup>-1</sup>; EDTA, 52,8 μmol·L<sup>-1</sup> (Fábregas *et al.*, 1985).

Al medio de cultivo control se le añadió separadamente la solución esterilizada de estroncio en forma de cloruro de estroncio hexahidratado (SrCl<sub>2</sub>·6 H<sub>2</sub>O) en concentraciones finales de 0.01, 0.1, 1, 3 y 10 mM. Lo mismo se realizó para un cultivo en reactor de 5 L, en condiciones del control (sin adición de estroncio) y con estroncio a una concentración 10 mM, solo para evaluar la actividad antioxidante.

Se inoculó la microalga marina *T. suecica* con una densidad inicial de 2.7 x10<sup>6</sup> cel·mL<sup>-1</sup> en fotobiorreactores tubulares de vidrio para cultivo de 30 mm de diámetro y fondo cóncavo con 80 ml de medio. Los tubos se colocaron en un soporte con las lámparas de luz integradas que proporcionaban una intensidad luminosa de 220 μmol quanta·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>. Los cultivos se sometieron a un ciclo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. Se incubaron en una cámara de cultivo a una temperatura de 20°C, con un flujo de aire de 100 ml·min<sup>-1</sup> enriquecido con un pulso de 10 segundos de CO<sub>2</sub> cada 10 minutos para mantener el pH con valores entre 7 y 8.

La renovación del cultivo se realizó durante la primera hora de luz con agua de mar estéril enriquecida con los mismos nutrientes a la concentración inicial, hasta concluir con la recolección de biomasa, la cual se inició una vez que el cultivo estaba estabilizado; eso se estima al tener una renovación de 2 veces el volumen de cultivo (Fábregas *et al.*, 1996), manteniéndose la densidad celular con poca variación (dentro del 10%) durante 30 días.

La concentración celular se midió diariamente en muestras frescas tomadas en la primera hora de luz, por el método de contaje directo al microscopio óptico en cámara Improved Neubauer, realizando las diluciones necesarias para lograr un conteo de entre 30 y 300 células por campo.

Para evaluar la actividad antioxidante se prepararon extractos, triturando las muestras de biomasa liofilizadas en un mortero hasta obtener un polvo fino. Por cada 30 mg de biomasa se añadió 1 ml de los diferentes solventes utilizados para la extracción; metanol:agua (1:1), metanol y etanol. Las mezclas se agitaron en un vórtex durante 30 s y se pusieron en un baño de ultrasonido con hielo durante 45 min. Las mezclas se centrifugaron a 3960 g durante 10 min y el sobrenadante se recogió y pasó a través de un filtro Millex GN filter (Millipore, USA) con poro de 0.45 µm. Los fenoles totales se estiman colorimétricamente por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). La determinación de la actividad antirradical se basó en el método del 2,2-difenilpicrilhidracilo (DPPH) establecido por Brand-Williams *et al.*, 1995. Este método consiste en preparar una disolución de DPPH en metanol a una concentración de  $6 \times 10^{-5}$  M que se guardó en frasco ámbar a 4°C. En una cubeta de cuarzo se añaden 980 µl de disolución de DPPH y posteriormente se añadieron 20 µl del extracto de la microalga y se agitó. Se introdujo la cubeta en un espectrofotómetro y se midió la absorbancia a 515 nm hasta la estabilización de la reacción. Para el blanco se utilizó metanol. Así mismo, se utilizó como control una alícuota de DPPH.

### Resultados y discusión

En este trabajo se evaluó el efecto de la adición al medio de estroncio en las concentraciones antes mencionadas en la sección de materiales y métodos, analizando su repercusión en: 1) la densidad celular del cultivo en batch y del estado estacionario y 2) en la actividad antioxidante de *T. suecica* producida en cultivo semicontinuo.

1). Densidad celular. El cultivo en *batch* alcanzó la fase estacionaria a los 6 días, con una densidad celular entre  $13$  a  $16 \times 10^6$  cel·mL<sup>-1</sup> y una tasa específica de crecimiento ( $\mu$ ) de  $0.34$  d<sup>-1</sup> en los cultivos con estroncio, sin haber una correlación significativa entre la  $\mu$  y la concentración de estroncio utilizada (Fig. 1), pero siendo ligeramente mayor a las del control con una  $\mu$  de  $0.32$  d<sup>-1</sup>.

Si bien, en el cultivo en batch el efecto no es significativo con la adición de estroncio en relación al control; en el cultivo semicontinuo se encontraron importantes diferencias. Así se tiene que los mayores niveles de densidad celular se lograron con la adición de estroncio en concentraciones desde  $0.01$  a  $1$  mM alcanzando  $7.0 \pm 0.9 \times 10^6$  y  $6.9 \pm 0.5 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> (Fig. 2), respectivamente, siendo significativamente diferentes al control que alcanzó una densidad celular de  $4.4 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup>.

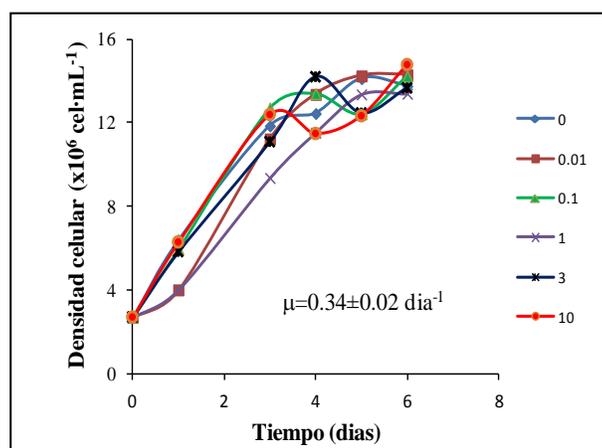


Figura 1. Comportamiento del crecimiento celular de *Tetraselmis suecica* en el cultivo batch con adición de estroncio en concentraciones de 0 a 10 mM.

Aunque a la fecha, el estroncio no es considerado como un nutriente esencial en el cultivo de microalgas marinas, estos resultados son prometedores cuando se quieren

establecer cultivos de alta densidad celular. Todavía no se ha determinado el mecanismo por el cual el estroncio activa mecanismos de crecimiento de *T. suecica*. Lo que si se ha reportado es sobre el efecto del estroncio cuando es consumido en la dieta de animales; en este sentido, Li *et al.*, (2004) describieron la habilidad del estroncio para remplazar al calcio en los huesos animales, siendo posible también que ocurra un fenómeno similar en las microalgas, lo que conducirá a diferencias en la composición de la pared celular o en el incremento del tamaño celular (Becker, 1994) que tendrían que confirmarse en trabajos posteriores. También sería interesante saber si el estroncio se queda adherido a la membrana celular e interviene en el transporte a través de la membrana mediante una interacción con los canales de  $\text{Ca}^{+2}$  o si es incorporado a la célula y, en todo caso, en qué organelo tendría la función de estimular el crecimiento celular. Por otra parte, Li *et al.* (2006) encontraron una ligera disminución de la densidad celular en cultivos de *Platymonas (Tetraselmis) subcordiformis* cuando se adicionó estroncio en el medio a una concentración de 5 mM ó 11 mM, mientras que las concentraciones por debajo de 1.4 mM no causaron inhibición del crecimiento, coincidiendo con los resultados observados en este trabajo.

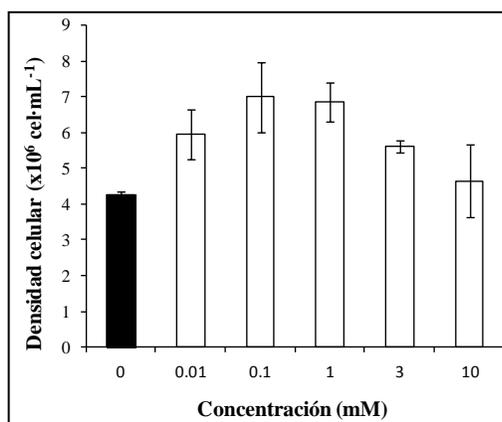


Figura 2. Densidad celular en el estado estacionario del cultivo semicontinuo de *T. suecica* con diferentes concentraciones de estroncio (barras transparentes) y el control (barra negra) sin adición de estroncio.

2) Actividad antioxidante. La determinación de la actividad antioxidante se inició con la medición del contenido de polifenoles totales y éstos se expresaron como

equivalentes de ácido gálico por gramo de biomasa seca ( $\text{mgGAE}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Se encontró una concentración máxima de polifenoles ( $3.5\pm 0.24 \text{ mgGAE}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en el tratamiento con estroncio 10 mM, presentando también el máximo porcentaje de inhibición de DPPH ( $77.0\pm 1.7\%$ ), el cual es significativamente mayor que el valor del control (Tukey  $p<0.05$ ). Además, se encontró una correlación lineal ( $R^2=0.98$ ) entre el contenido de polifenoles y el porcentaje de inhibición del DPPH como se muestra en la Fig. 3, lo que sugiere que los compuestos polifenólicos del extracto metanólico pueden ser los responsables de la actividad antioxidante.

En algunas microalgas, la actividad antioxidante se atribuye al contenido de ácidos grasos insaturados (Li *et al.*, 2006) o al sinergismo entre diversos compuestos celulares (Rodríguez-García y Guil-Guerrero, 2008) como fenoles simples, vitamina E y carotenoides (Rodríguez-Meizoso *et al.*, 2010). El alto porcentaje de inhibición del DPPH de los extractos obtenido en este trabajo fue similar a los valores obtenidos (71% de inhibición) cuando se usó la digestión enzimática para la preparación de los extractos de *T. suecica* cultivada sin adición de estroncio al medio de cultivo (Lee *et al.*, 2009).

Una vez establecido el efecto del estroncio a concentración 10 mM sobre la actividad antioxidante de *T. suecica*, se procedió a evaluar esta actividad en biomasa cultivada en un reactor de 5 L en las mismas condiciones de crecimiento.

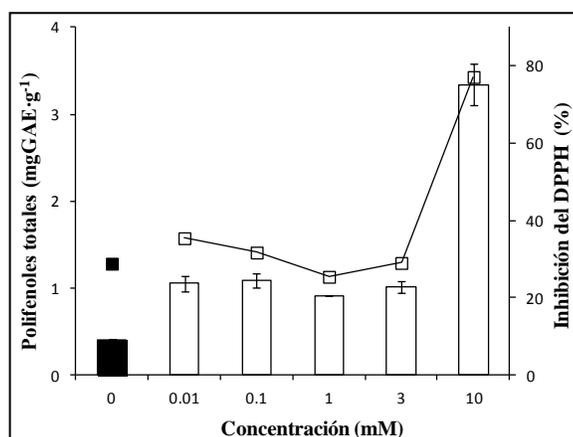


Figura 3. Contenido de polifenoles totales (barras) y porcentaje de inhibición del DPPH (líneas) en los extractos metanólicos de la microalga *T. suecica* cultivada en diferentes concentraciones de estroncio (barras transparentes) y el control (barra negra) en un régimen semicontinuo.

## Cultivo en reactor de 5 L

Los resultados de la inhibición del DPPH se muestran en la figura 4. La máxima inhibición del DPPH se logró en los extractos CB (Cultivo control en reactor de 5 L) y SrB (Cultivo con estroncio a concentración 10 mM en reactor de 5 L) de *T. suecica* usando metanol-agua en su preparación ( $81.9 \pm 2.5\%$  y  $80.2 \pm 1.7\%$ ) siendo muy similar al resultado obtenido en SrT (Cultivo con estroncio en reactor de 80 ml) con el  $77.0 \pm 1.7\%$ . Este resultado no se correlaciona con el bajo contenido de polifenoles encontrados en el mismo tratamiento (Fig. 4), lo cual indica que los polifenoles no fueron los únicos responsables de la inhibición del DPPH. Sin embargo, el coeficiente de correlación entre el % de inhibición del DPPH y el contenido de polifenoles fue alto y significativo para los extractos metanólicos y metanol-agua, con 0.71 y 0.7, respectivamente. En este sentido, Hajimahmoodi *et al.* (2010) encontraron un coeficiente de correlación pequeño entre estas variables para extractos de microalgas. Por el contrario, en algunas macroalgas se ha encontrado una correlación significativa entre la inhibición del DPPH y el contenido de polifenoles (Jiménez-Escrig *et al.*, 2009).

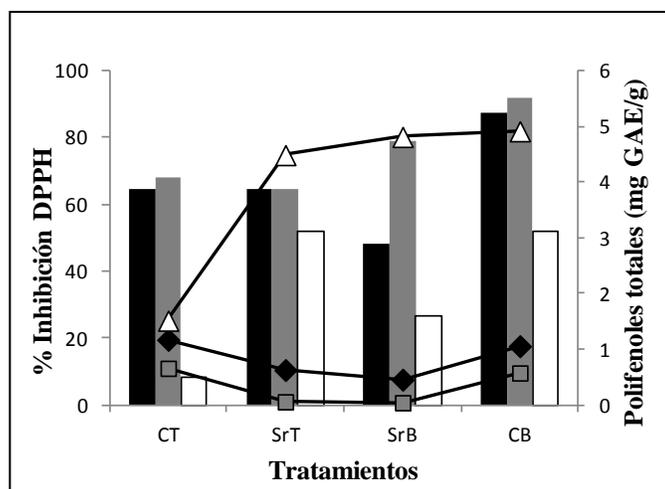


Figura 4. Contenido de polifenoles totales (líneas) y porcentaje de inhibición del DPPH (barras) de la biomasa de *T. suecica* cultivada en reactor de 80 ml y de 5 L con y sin adición de estroncio y los extractos preparados con (■) metanol, (■) etanol y (□) metanol agua (50%).

Se han encontrado en la literatura valores de hasta 71% de inhibición del DPPH en extractos de *T. suecica* preparados por digestión enzimática (Lee *et al.*, 2009) así

como alrededor de un 100% de inhibición en una fracción acuosa a partir de una extracción secuencial con hexano, acetato de etilo y agua de *Chlorella vulgaris* (Hajimahmoodi *et al.*, 2010). Se ha demostrado que otros componentes celulares como las proteínas, ácidos grasos poliinsaturados y algunos pigmentos tienen cierta actividad antioxidante (Lee *et al.*, 2009). En este trabajo, el mejor disolvente para la extracción fue la mezcla metanol-agua (50%) con el mayor porcentaje de inhibición de DPPH (80%).

### Conclusiones

En el cultivo establecido con la finalidad de evaluar el efecto de la adición de estroncio al medio de crecimiento de *T. suecica*, se puede concluir que el estroncio en concentraciones de 0.1 y 1 mM favorece la densidad celular en un cultivo semicontinuo de *T. suecica*: Así mismo, el estroncio a concentración 10 mM induce un mayor contenido de polifenoles y una mayor actividad antioxidante, independientemente si se cultiva a escala de reactor de 80 ml o de 5 L. Además se demostró que la biomasa de *T. suecica* puede ser una buena fuente natural de extractos antioxidantes.

### Referencias

- Avery, S. V., Smith, S. L., Mohamad-Ghazi, A. & Hoptroff, M. J. (1999) Stimulation of strontium accumulation in linoleate-enriched *Saccharomyces cerevisiae* is a result of reduced  $Sr^{2+}$  Efflux. *Applied Environmental Microbiology*, 65:1191–1197.
- Becker, E. W. (1994). *Microalgae: Biotechnology and microbiology*. Cambridge University Press. London.
- Belotti, G., Giannelli, L., Torzillo, G., De Filippis, P., Scarsella, M. & Bravi, M. (2010) Microalgae biomass and lipid production potential, and mechanical stress compliance. *Journal of Biotechnology*, 150: S18.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 28(1):25-30.

- Brennan, L. & Owende, P. (2010) Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. [Renewable and Sustainable Energy Reviews 14\(2\):557-577.](#)
- Fábregas, J., Herrero, C., Cabezas, B. & Abalde, J. (1985) Mass culture and biochemical variability of the marine microalga *Tetraselmis suecica* Kylin (Butch) with high nutrient concentration. *Aquaculture*, 49:231-244.
- Fábregas, J., Patiño, M., Morales, E., Cordero, B. & Otero, A. (1996) Optimal renewal rate and nutrient concentration for the production of the marine microalga *Phaeodactylum tricornutum* in semicontinuous cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 62:266-268.
- Faison, B. D., Cancel, C. A., Lewis, S. N. & Adler, H. I. (1990) Binding of Dissolved Strontium by *Micrococcus luteus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(12):3649-3656.
- Guedes, A. C., Amaro, H. M. & Malcata, F. X. (2011) Microalgae as sources of high added-value compounds-A brief review of recent work. *Biotechnology Progress*, 27(3):597-611.
- Hajimahmoodi, M., Faramarzi, M. A., Mohammadi, N., Soltani, N., Reza, O. M. & Nafissi-Varcheh, N. (2010) Valuation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 22:43–50.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G. M. & Danquah, M. K. (2010) Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:1037–1047.
- Hosikian, A., Lim, S., Halim, R. & Danquah, M. K. (2010) Chlorophyll Extraction from Microalgae: A Review on the Process Engineering Aspects. *International Journal of Chemical Engineering*, 10(1155):1-11.
- Jiménez-Escrig, A., Jiménez-Jiménez, I., Pulido, R. & Saura-Calixto, F. (2001) Antioxidant activity of fresh and processed edible seaweeds. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 81:530-534.

- Lee, S. H., Chang, D. U., Lee, B. J. & Jeon, Y. J. (2009) Antioxidant activity of solubilized *Tetraselmis suecica* and *Chlorella ellipsoidea* by enzymatic digests. *Journal of Food and Science Nutrition*, 14:21-28.
- Li, M., Xu, J., Liu, Z. & Xu, J. (2004) Strontium stress on marine microalgae *Dicrateria inornata* growth and antioxidant enzymes activities. [\*Oceanologia Et Limnologia Sinica\*, 5:1121-1125.](#)
- Li, M., Xie, X., Xue, R. & Liu, Z. (2006) Effects of strontium-induced stress on marine microalgae *Platymonas subcordiformis* (Chlorophyta: Volvocales). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 24(2):154-162.
- Milledge, J. J. (2011) Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 10:31–41.
- Rodríguez-García, I. & Guil-Guerrero, J. L. (2008) Evaluation of the antioxidant activity of three microalgal species for use as dietary supplements and in the preservation of foods. *Food Chemistry*, 108:1023–1026.
- Rodríguez-Meizoso, I., Jaime, L., Santoyo, S., Señoráns, F. J., Cifuentes, A. & Ibáñez E (2010) Subcritical water extraction and characterization of bioactive compounds from *Haematococcus pluvialis* microalga. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51:456–463.
- Satyanarayana, K. G., Mariano, A. B. & Vargas, J. V. C. (2011) A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials. *International Journal of Energy Research*, 35:291–311.
- Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16:144–158.

### Capítulo III. Producción de enzimas de hongos filamentosos

María Isabel Estrada Alvarado, Laura Elisa Gassós Ortega, Luis Alberto Cira Chávez,  
Lourdes Mariana Díaz Tenorio, Edna Abigail Hernández Corral y Saúl Ruiz Cruz

Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [maria.estrada@itson.edu.mx](mailto:maria.estrada@itson.edu.mx)

#### Resumen

Las investigaciones sobre antioxidantes, entre los que se encuentran los compuestos fenólicos, han ido tomando importancia debido a los múltiples beneficios que otorgan a la salud. El objetivo de la presente investigación fue la producción de un extracto enzimático con actividad clorogenato hidrolasa a partir de la fermentación sumergida de seis cepas fúngicas *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma citrinoviride*, *Hypocrea lixii*, *Phacelomyces lilacilum* y una cepa no identificada, utilizando bagazo de betabel y de manzana como inductores enzimáticos. La determinación de actividad enzimática se determinó mediante análisis espectrofotométrico midiendo la diferencia de absorbancia a 335 nm utilizando ácido clorogénico como sustrato. La cepa *Aspergillus oryzae* presentó una mayor actividad enzimática de 1.40 nkat/mL al utilizar bagazo de betabel, mientras que con *Phacelomyces lilacilum* se obtuvo un máximo de 0.69 nkat/mL utilizando bagazo de manzana como inductor, las cepas restantes no presentaron actividad enzimática sobre el sustrato. El extracto obtenido de estas dos cepas fue probado sobre cuatro sustratos naturales: cáscara de papa, bagazo de manzana, café colado y sedimento de café colado para la liberación de ácido caféico, cuantificando además el ácido clorogénico hidrolizado, azúcares reductores y compuestos fenólicos.

#### Introducción

Las investigaciones sobre antioxidantes han ido tomando importancia debido a los múltiples beneficios que otorgan a la salud, ya que éstos previenen carcinogénesis y reducen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y algunas enfermedades crónicas, debido a que interfieren en el daño oxidativo de ácidos nucleicos, lípidos y proteínas. Estos daños oxidativos son causados por radicales libres, los cuales se producen naturalmente durante el metabolismo. Los antioxidantes previenen la formación de estos radicales o bien promueven su descomposición (McKevith, *et al*, 2003).

El origen de los antioxidantes puede ser natural o sintético, pero debido a que se ha sugerido que el uso de antioxidantes sintéticos incrementa la actividad mutagénica de las células, se busca obtenerlos de fuentes naturales para evitar posibles efectos nocivos a la salud (Singh, *et al*, 2011). Dentro de los antioxidantes naturales se encuentran los compuestos fenólicos, los cuales han despertado un gran interés debido a su bioactividad, ya que se consideran benéficos a la salud. Se ha demostrado en diversas investigaciones que estos compuestos resultan de gran utilidad en el tratamiento de diversas enfermedades. La mayor fuente de estos compuestos en la dieta humana son frutas y verduras.

Dentro de los compuestos fenólicos se encuentran los ácidos hidroxicinámicos, el más conocido de estos el ácido clorogénico, éster soluble del ácido quínico, presente en altas concentraciones en manzanas, peras y tubérculo de papa (Asther, *et al*, 2005), y al igual que otros ácidos hidroxicinámicos posee gran capacidad antioxidante. Estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en la pared celular de los vegetales, generalmente ligados mediante enlaces éster a residuos de azúcar, por lo cual es necesario hidrolizar estos enlaces para liberarlos.

Los antioxidantes naturales en la alimentación han ganado atención como protectores ante radicales libres ya que protegen del daño oxidativo (Pari, *et al*, 2010). Los ácidos hidroxicinámicos, entre ellos los ácidos caféico y clorogénico resultan una buena opción, pero el problema radica en la obtención de ellos.

Estos compuestos se encuentran distribuidos en la pared celular de células vegetales ligados a azúcares mediante enlaces éster, por lo que una buena opción para liberarlos es mediante enzimas estererasas que rompan estos enlaces, estas enzimas son exógenas y de expresión inducible, motivo por el cual en la presente investigación, se probarán dos inductores enzimáticos, pulpa de manzana y betabel, para comparar la actividad en los extractos enzimáticos inducidos por cada uno.

Debido a que la degradación de la pared celular requiere de enzimas con diferentes actividades, se medirá la eficiencia del extracto enzimático crudo para posteriormente usarlo con los diferentes sustratos. Por otro lado, la industria alimentaria

genera diariamente grandes cantidades de residuos que son considerados como contaminantes (Levasseur, *et al*, 2005), aun cuando la mayoría de ellos contienen compuestos que pueden ser aprovechados, entre ellos compuestos fenólicos.

### Metodología

Microorganismos. Se utilizaron seis cepas fúngicas: *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma citrinoviride*, *Hypocrea lixii*, *Phacelomyces lilacilum*.

Activación y propagación de cepas.

Para su activación, las cepas fueron resembradas por estría en cajas Petri con medio selectivo MYA2 (Extracto de levadura 1 g/L, Extracto de malta 20 g/L. Agar 20g/L) y se incubaron a 35°C por períodos de 10 días hasta su adaptación al medio.

Fermentación. La producción del extracto enzimático se llevó a cabo por fermentación sumergida en matraces Erlenmeyer bafleados de 500 mL con 100 mL del medio y se inocularon con una concentración de  $2 \times 10^5$  esporas/mL. Los matraces se colocaron en una incubadora con agitación intermitente a 35°C durante un periodo de 14 días.

Como inductores enzimáticos se utilizaron pulpa de manzana y betabel tamizados. El medio de cultivo se preparó con las siguientes concentraciones: 15 g/L de inductor enzimático, 2.5 g/L de maltosa, 0.5 g/L extracto de levadura, 1.842 g/L de tartrato de amonio, 0.2 g/L de fosfato dibásico de potasio, 0.5 g/L de sulfato de magnesio, 0.0132 g/L de cloruro de calcio y 0.5 g/L de Tween 8.

Determinación de actividad enzimática. La actividad se midió por la diferencia relativa de absorbancia entre el ácido fenólico libre y el éster correspondiente a 335 nm. Se preparó una solución de ácido 3-N-morfolino propanosulfónico (MOPS) 100 mM a pH 6 y una solución de ácido clorogénico 1.18 mM. La mezcla de reacción está formada por 970  $\mu$ L de solución MOPS, 30  $\mu$ L del sustrato, en este caso, ácido clorogénico y 200  $\mu$ L de extracto enzimático obtenido de la fermentación. La actividad enzimática se expresa en nkatal/mL.

Hidrólisis enzimática de sustratos naturales. Los sustratos naturales utilizados fueron: cáscara de papa, bagazo de manzana, café filtrado y sedimento de café filtrado.

Se incubaron 2.5 g de sustrato seco estéril con los extractos enzimáticos obtenidos. Se utilizaron 10 mL de extracto enzimático. Antes de agregar el extracto enzimático a cada matraz con su respectivo sustrato, se agregaron 2.5 mL de azida de sodio y 25 mL de agua desionizada. La hidrólisis se realizó por 24 horas, las mezclas se mantuvieron a 37°C bajo agitación (100 rpm). Transcurridas las 24 horas se agregaron 25 mL de metanol.

Análisis de muestras por espectrofotometría. Se midió la absorbancia de los ácidos hidroxicinámicos de cada muestra a una longitud de onda de 286 nm para el ácido caféico, 323 nm para el ácido clorogénico y 270 nm para el fenol.

Determinación de azúcares reductores. Para la curva de calibración se preparó una solución de 2 g/L de glucosa, de esta solución se realizaron diluciones (por triplicado) de 10–100 µL completando el volumen con agua destilada. Se preparó a la par un blanco con únicamente agua destilada. A cada tubo se agregaron 100 µL de reactivo ácido-3,5-dinitrosalicílico (DNS) y se agitó esta solución mediante vórtex. Los tubos se colocaron en baño maría en ebullición durante 5 minutos e inmediatamente se colocó en hielo durante 5 minutos para inhibir la reacción. Se agregó 1 mL de agua, agitando en vórtex para homogenizar. Se usaron 100 µL de cada muestra en la microplaca y se leyó a 540 nm.

Técnica modificada de Bradford. Se utilizó una modificación a la técnica Bradford (1976) para cuantificar compuestos fenólicos.

### *Resultados y discusión*

A continuación se presentan los resultados de los experimentos realizados así como la discusión de los mismos. Seis cepas fúngicas fueron sembradas en medio MYA2 para su activación, de las cuales, en base a su crecimiento se seleccionaron solamente cuatro para producir extracto enzimático: *Trichoderma citrinoviride*, *Hypocrea lixii*, *Apergillus oryzae* y *Paecilomyces lilacinus*.

Producción de extracto enzimático y determinación de actividad enzimática.

Las cuatro cepas (*Trichoderma citrinoviride*, *Hypocrea lixii*, *Aspergillus oryzae*, *Paecilomyces lilacinus*) fueron probadas para producir extractos enzimáticos a 35°C con agitación de 110 rpm, utilizando bagazo de manzana y betabel como inductores para comparar con cuál de ellos se obtiene un extracto con mayor actividad enzimática sobre ácido clorogénico. Se evaluó la actividad enzimática de los extractos obtenidos de cada cepa midiendo la diferencia relativa de absorbancia entre ácido clorogénico y ácido caféico a 335 nm.

Los extractos de las cepas *Trichoderma citrinoviride* e *Hypocrea lixii* no presentaron actividad enzimática sobre ácido clorogénico con ninguno de los inductores utilizados en la fermentación. El género *Trichoderma* es utilizado comúnmente para producción industrial de enzimas celulasas, hemicelulasas, xilanasas y quitinasas, en cambio *Hypocrea lixii* solo se conoce para la producción de quitinasas. Las cepas restantes presentaron actividad clorogenato esterasa con los dos inductores utilizados.

En presencia de bagazo de manzana, el extracto de las cepas *A. oryzae* y *P. lilacinus* presentaron mayor actividad al cuarto y quinto día de incubación con 1.3895 y 0.6877 nkat/mL respectivamente (Figura 1). Al utilizar betabel como inductor, el extracto de *A. oryzae* presentó mayor actividad en el octavo día de incubación con 1.4025 nkat/mL siendo el máximo alcanzado, descendiendo los días posteriores y presentando un aumento el día 14, mientras que el extracto proveniente de *P. lilacinus* presentó mayor actividad al quinto día con 0.3439 nkat/mL presentando un comportamiento constante en cuando a actividad enzimática en función del tiempo (Figura 2). En ambos casos se observa una mayor actividad clorogenato esterasa en los extractos de *A. oryzae* que en los de *P. lilacinus*.

Aunque el género *Aspergillus* se conoce por ser fuente de enzimas feruloil esterases, solamente se han reportado dos cepas productoras de clorogenato esterases, *A. niger* y *A. japonicus*, a partir de la cual se obtiene la única preparación comercial (Sandoval, *et al*, 2008). En el caso de *A. oryzae* se ha reportado la producción de diversas enzimas entre ellas xilanasas en medios que contienen xilano como fuente de

carbono (Bailey, 1993; Cristopher, 2006), producción de feruloil esterasas que actúan en sinergismo con xilanasas (Tenkanen, *et al*, 1991), pectinmetil esterasa (Kitamoto, *et al*, 1999) y enzimas capaces de remover grupos acetyl de xilano (Tenkanen, 1998). En cuanto a la cepa *P. lilacinus*, se ha reportado la obtención de enzimas dextranasas (Galvez-Mariscal & Lopez-Munguia, 1991) y de enzimas proteasas y quitinasas utilizando yema de huevo y quitina como inductores respectivamente (Khan, 2003; Bonants, 2004).

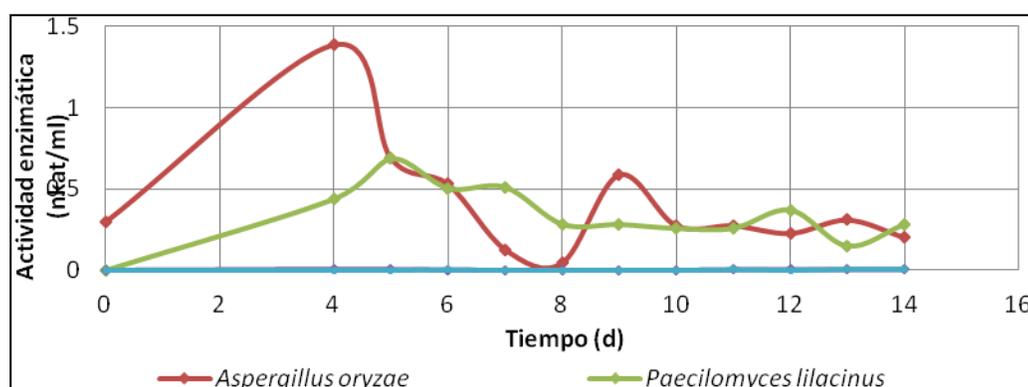


Figura 1. Actividad enzimática de los extractos obtenidos a partir de la fermentación de diferentes cepas fúngicas utilizando bagazo de manzana como inductor enzimático.

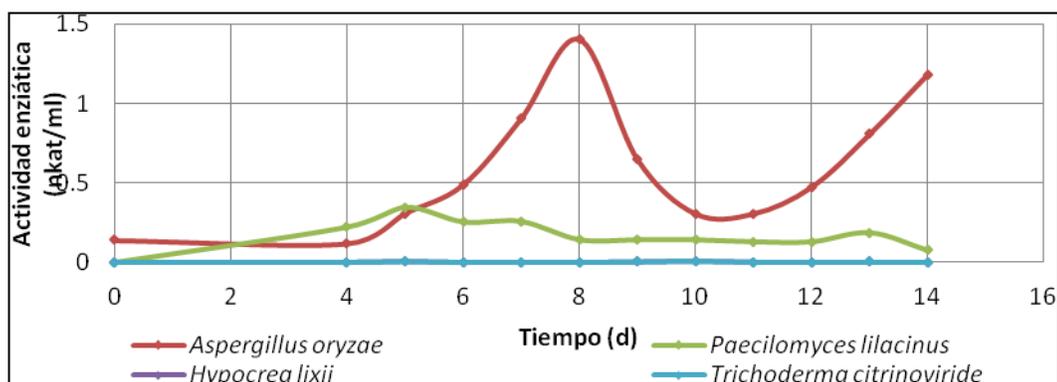


Figura 2. Actividad enzimática de los extractos obtenidos a partir de la fermentación de diferentes cepas fúngicas utilizando bagazo de betabel como inductor enzimático.

Estudios han demostrado la actividad de enzimas esterasas obtenidas a partir de cepas de *A. niger* modificadas, obteniendo enzimas purificadas altamente específicas y que hidrolizan el ácido clorogénico en su totalidad (Asther, *et al*, 2006). Con la cepa *A.*

*niger* BRFM 131 utilizando bagazo de betabel como inductor enzimático y bajo las mismas condiciones de fermentación, se obtuvo un máximo de 0.46 nkat/mL el día 11 de fermentación (Asther, *et al*, 2005).

Aunque los extractos provenientes de ambas cepas presentaron actividad con ambos inductores, se eligió el bagazo de manzana como mejor inductor, ya que se observó que en conjunto es en este sustrato donde presentaron mayor actividad.

#### Hidrólisis enzimática de sustratos naturales

Se produjeron los extractos enzimáticos, obteniéndolos los días que presentaron mayor actividad según la cepa. Estos extractos se probaron sobre cuatro sustratos naturales: bagazo de manzana, cáscara de papa, café colado y sedimento de café colado. Se midió la absorbancia para analizar relativamente los contenidos de ácido caféico y clorogénico a 286 y 323 nm respectivamente.

El contenido inicial de ácido clorogénico se encontró en diferentes proporciones en cada sustrato, siendo considerablemente mayor en cáscara de papa y café colado con 2.9 y 2.7  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  respectivamente. En la figura 3 se observa la diferencia de concentración de ácido clorogénico antes y después de la reacción con el sustrato de cada cepa. En todos los casos hubo una disminución de la concentración, lo que indica que el ácido fue hidrolizado por el extracto enzimático, aunque en ninguno de los casos fue hidrolizado en su totalidad, siendo mayor el porcentaje de hidrólisis en el bagazo de manzana al utilizar el extracto de *P. lilacinus* con un 54.8 % de consumo. Por otra parte, al utilizar éste extracto sobre cáscara de papa, café colado y residuo de café, se obtuvo 16.3, 28.2 y 28.6%, respectivamente de ácido consumido. En lo que respecta al extracto de *A. niger*, los resultados sobre los mismos sustratos fueron 32.04, 17.90, 20.53 y 12.01% respectivamente.

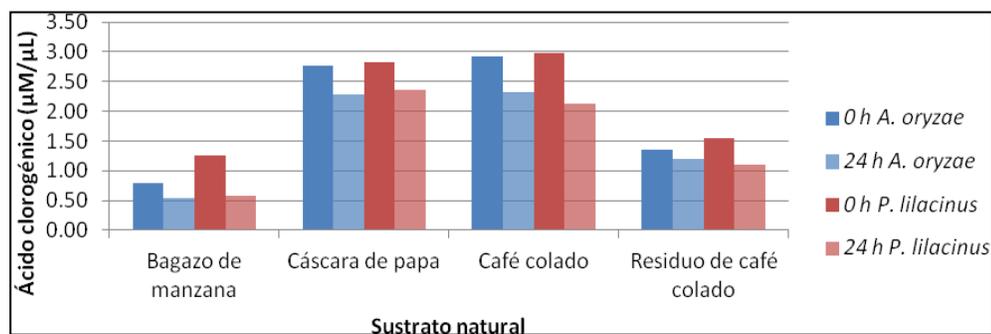


Figura 3. Concentración de ácido clorogénico antes y después de la reacción con el extracto enzimático de ambas cepas en los diferentes residuos.

Se midió de igual manera el contenido de ácido caféico en cada sustrato antes y después de la reacción con los extractos de cada cepa. Antes de la reacción con los extractos, todos los sustratos mostraron presencia de ácido caféico, siendo el mayor contenido en el café colado y encontrándose en menor proporción en el sedimento de éste café. Después de la reacción con el extracto enzimático de *A. niger* la concentración del ácido caféico solo aumento 0.02  $\mu\text{M}/\text{mL}$  en la cáscara de papa y 0.4  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  en el sedimento de café colado, mientras que con el extracto de *P. lilacinus* el aumento fue de 0.16  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  en el bagazo de manzana, 0.01  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  en la cáscara de papa, 0.06  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  en el café colado y 0.309  $\mu\text{M}/\mu\text{L}$  (Figura 4).

Al comparar los resultados obtenidos sobre la concentración de ambos ácidos antes y después de la reacción, podemos comparar la acción del extracto enzimático sobre los diferentes sustratos naturales, ya que se sabe que este tipo de enzimas presentan diferente especificidad según los sustratos y es más activa en sustratos de la pared celular que en mezclas comerciales (Ralet, *et al*, 1994), también es importante mencionar que algunas feruloil esterasas tienen la habilidad de liberar ácido caféico de ésteres distintos al ácido clorogénico, como en el caso del residuo de café donde el consumo de este último es menor al aumento del ácido caféico, lo cual indica que probablemente este provenga de la hidrólisis de otra estructura, ya que el ácido caféico también se encuentra esterificado a azúcares y otros compuestos.

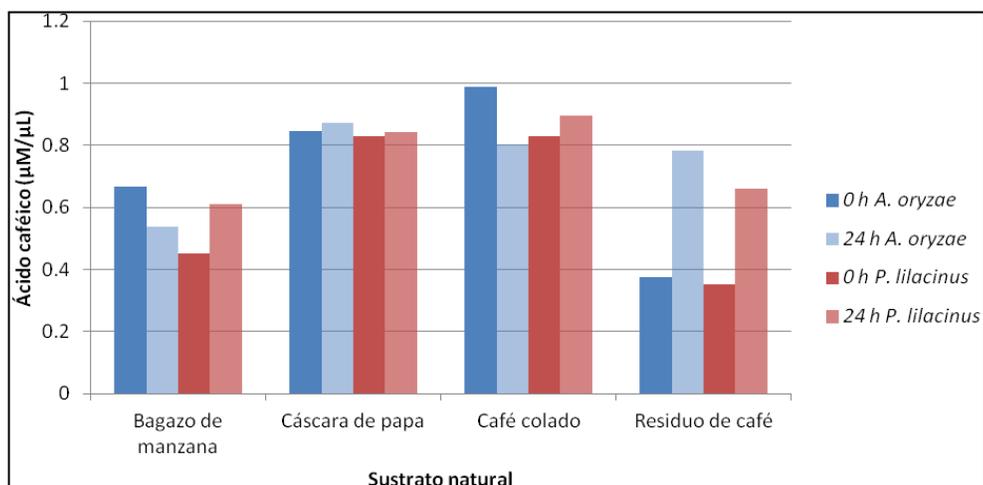


Figura 4. Concentración de ácido caféico antes y después de la reacción con el extracto enzimático de ambas cepas en los diferentes residuos.

#### Azúcares reductores

Se determinaron los azúcares reductores de todas las muestras antes y después de la reacción de hidrólisis con el extracto enzimático. La mayor cantidad de liberación de azúcares de ambos extractos se obtuvo utilizando bagazo de manzana como sustrato en la reacción, siendo el extracto *P. lilacinus* el de mayor rendimiento, con el cual se obtuvieron 78.148 g/L de azúcares reductores. Comparado con este resultado los demás sustratos contienen mucha menor cantidad de azúcares y observamos que el contenido de éstos se mantiene constante en café colado, mientras disminuye un poco en el caso de la cáscara de papa y residuo de café. La cantidad de azúcares liberados a partir del bagazo de manzana, que llegó hasta 78, 148 g/L es indicador de que el extracto enzimático obtenido de *P. lilacinus* hidroliza también enlaces de estos compuestos en este sustrato (Figura 5).

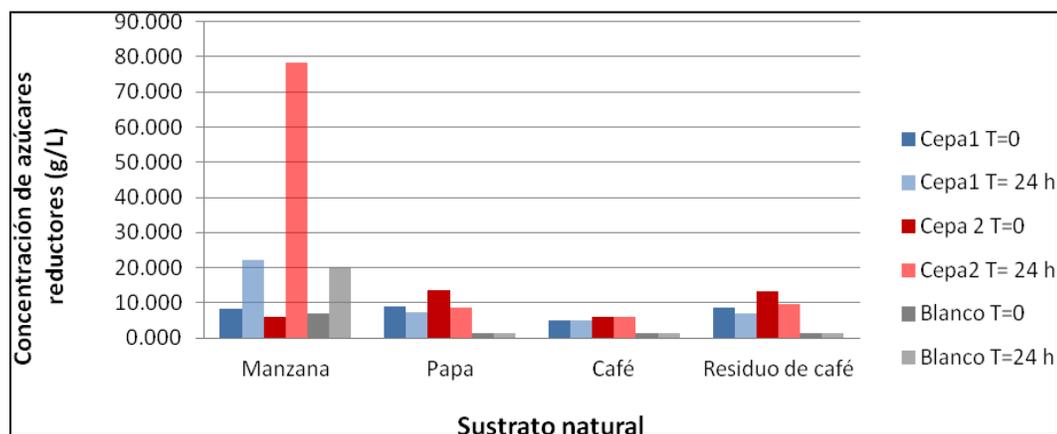


Figura 5. Concentración de azúcares reductores antes y después de la hidrólisis con extractos enzimáticos.

El contenido de fenol inicial resultó ser mayor en el café colado ( $0.48 - 0.5 \mu\text{M}/\mu\text{L}$ ), seguido por la cáscara de papa ( $0.24 - 0.32 \mu\text{M}/\mu\text{L}$ ), el residuo de café ( $0.19 - 0.2 \mu\text{M}/\mu\text{L}$ ) y por último el bagazo de manzana ( $0.13 - 0.17 \mu\text{M}/\mu\text{L}$ ). Después de la reacción con los extractos enzimáticos el contenido de fenol aumentó, y fue el residuo de café, el sustrato en el cual se presentó un mayor aumento, de hasta  $0.36 \mu\text{M}/\mu\text{L}$  con el extracto de *P. lilacinus* y  $0.32 \mu\text{M}/\mu\text{L}$  con *A. oryzae*, en la cáscara de papa el incremento fue de  $0.09$  y  $0.03 \mu\text{M}/\mu\text{L}$  para cada extracto y en el bagazo de manzana de  $0.02$  y  $0.01 \mu\text{M}/\mu\text{L}$ , respectivamente. En el caso del café colado el contenido de fenol disminuyó entre  $0.16$  y  $0.21 \mu\text{M}/\mu\text{L}$  (Figura 6).

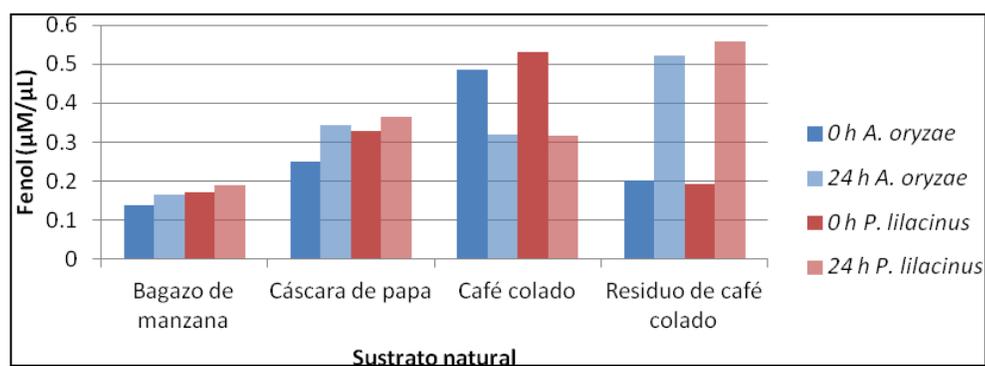


Figura 6. Concentración de fenoles en los sustratos naturales con los extractos enzimáticos.

### Conclusiones

Los extractos provenientes de las cepas *A. niger* y *P. lilacinus* presentaron actividad, siendo el bagazo de manzana el mejor inductor para ambas cepas. Se obtuvo una hidrólisis máxima de 52.53% del ácido clorogénico presente en el bagazo de manzana utilizando el extracto de *P. lilacinus*, pero una mayor liberación de ácido caféico en el residuo de café colado, aumentando éste en un poco más del doble (107.98%) con el extracto de *A. niger*.

En ninguno de los casos se hidrolizo el ácido clorogénico total, pero se demuestra que ambos extractos obtenidos presentan actividad esterasa sobre ácido clorogénico. Se cuantificaron los azúcares reductores liberados tras la reacción, concluyendo que al utilizar el extracto enzimático de *P. lilacinus* sobre el bagazo de manzana existe una gran liberación de azúcares reductores, los cuales son precursores de biocombustibles.

### Referencias

- Asther, M., Benoit, I., Navarro, D., Marnet, N., Rakotomanomana, N., Lesage-Meessen, L., y otros. (2006). Feruloyl esterases as a tool for the release of phenolic compounds from agro-industrial by-products. *Carbohydrate Research* , 341, 1820-1827.
- Asther, M., Estrada Alvarado, M. I., Haon, M., Navarro, D., Asther, M., Lesage-Meessen, L., y otros. (2005). Purification and characterization of a chlorogenic acid hydrolase from *Aspergillus niger* catalysing the hydrolysis of chlorogenic acid. *Journal of Biotechnology* , 115 (1), 47-56
- Bonants, P. J., Fitters, P. F., Thijs, H., den Belder, E., Waalwijk, C., & Henfling, D. (1995). A basic serine protease from *Paecilomyces lilacinus* with biological activity against *Meloidogyne hapla* eggs. *Microbiology* , 141 (4), 775-784.
- Bailey, M. J., & Viikari, L. (1993). Production of xylanases by *Aspergillus fumigatus* and *Aspergillus oryzae* on xylan-based media. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* , 9 (1), 80-84.

- Bradford, M. M. (1976). A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry* , 72, 248-254.
- Galvez-Mariscal, A., & Lopez-Munguia, A. (1991). Production and characterization of a dextranase from an isolated *Paecilomyces lilacinus* strain. *Applied Microbiology and Biotechnology* , 36 (3), 327-331.
- Khan, A., Williams, K., Molloy, M. P., & Nevalainen, H. (2003). Purification and characterization of a serine protease and chitinases from *Paecilomyces lilacinus* and detection of chitinase activity on 2D gels. *Protein Expression and Purification* , 32 (2), 210-220.
- Kitamoto, N., Okada, H., Yoshino, S., Ohmiya, K., & Tsukagoshi, N. (1999). Pectin Methylesterase Gene (pmeA) from *Aspergillus oryzae* KBN616: Its Sequence Analysis and Overexpression, and Characterization of the Gene Product. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* , 63 (1), 120-124.
- Levasseur, A., Navarro, D., Punt, P. J., Belaïch, J.-P., Asther, M., & Record, E. (2005). Construction of Engineered Bifunctional Enzymes and Their Overproduction in *Aspergillus niger* for Improved Enzymatic Tools To Degrade Agricultural By-Products. *Applied and Environmental Microbiology* , 71 (12), 8132-8140.
- McKevith, B., Kelly, C., Stanner, S., Hughes, J., & Buttriss, J. (2003). The Food Standards Agency's antioxidants in food programme – a summary. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* , 16, 257-263.
- Pari, L., Karthikesan, K., & Menon, V. P. (2010). Comparative and combined effect of chlorogenic acid and tetrahydrocurcumin on antioxidant disparities in chemical induced experimental diabetes. *Molecular and Cellular Biochemistry* , 341, 109-117.
- Ralet, M.-C., Faulds, C. B., Williamson, G., & Thibault, J.-F. (1994). Degradation of feruloylated oligosaccharides from sugar-beet pulp and wheat bran by ferulic acid esterases from *Aspergillus niger*. *Carbohydrate Research* , 263 (2), 257-269.

- Singh, A., Sabally, K., Kubow, S., Donnelly, D. J., Gariepy, Y., Orsat, V., y otros. (2011). Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Antioxidants from Potato Peels. *Molecules* , 12, 2218-2232.
- Sandoval, G., Mateos, J. C., Rivera, M., Arrizon, J., & Canales, A. (2008). Enzymes useful in the synthesis of bioactive caffeic acid derivatives: practical screening and structure-function relationships. En *New Horizons in Biotechnology* (págs. 131-156). New Delhi, India: Ed. Asiatech Publishers Inc.
- Tenkanen, M. (1998). Action of *Trichoderma Reesei* and *Aspergillus oryzae* Esterases in the Deacetylation of Hemicelluloses. *Biotechnology and Applied Biochemistry* , 27 (1), 19-24.
- Tenkanen, M., Schuseil, J., Puls, J., & Poutanen, K. (1991). Production, purification and characterization of an esterase liberating phenolic acids from lignocellulosics. *Journal of Biotechnology* , 18 (1), 69-83

**Capítulo IV. Niveles de plaguicidas organoclorados en el agua de la Bahía de Yavaros y Bahía de Lobos, Sonora y su impacto en el hábitat de *Artemia franciscana***

José de Jesús Balderas Cortés, José Luis Antonio Solórzano Meza, María Mercedes Meza Montenegro, Iram Mondaca Fernández y Roberto RodríguezRamírez  
Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [jose.balderas@itson.edu.mx](mailto:jose.balderas@itson.edu.mx)

*Resumen*

La contaminación afecta los ecosistemas marinos, acuáticos costeros y limnéticos en los que habitan numerosos organismos de importancia comercial o de alto potencial para la acuicultura, entre los que se encuentra el crustáceo *Artemia franciscana* (Kellogg, 1906). *Artemia* es una especie endémica del sur del estado de Sonora y forma parte de la alimentación básica del camarón y otras especies de interés comercial en la región. Al ser la base de la cadena trófica en las lagunas costeras, su rol como indicador de ambientes contaminados juega un papel predominante en los estudios toxicológicos costeros y su caracterización geográfica. Aunque, los valles del Yaqui y Mayo son las zonas agrícolas más importantes de Sonora, sólo existen datos limitados de los residuos plaguicidas en las aguas residuales provenientes de estos lugares. En este estudio se midieron los plaguicidas organoclorados (POC's) en 20 muestras de agua (marina) de Bahía de Yavaros y 20 muestras de agua (marina) en Bahía de Lobos, Sonora, México. La extracción de POC's en agua de Bahía se realizó empleando la metodología de Dispersión de Matriz en Fase Sólida (DMFS) modificada por Valenzuela *et al.*, 1999 y 2006. Las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases en las cuales las concentraciones de POC's (suma de 12 plaguicidas estudiados) se encontraron en el rango de no detectables (N.D.) a 17.02 µg/L. Del total de 12 plaguicidas analizados en los 10 puntos se encontraron presentes 10 compuestos organoclorados.

*Introducción*

La agricultura es la principal actividad en los valles del Yaqui y Mayo del sur de Sonora, México; donde el trigo, maíz, hortalizas, y el algodón son los principales cultivos. En 2009, Sonora tenía 567.796 hectáreas de agricultura con una producción de la tierra de 3.401.038 toneladas, principalmente de trigo, papas, sorgo, sandía y el

calabacín. Esto constituyó 2,77% de la producción nacional de México (SAGARPA, 2011) y es uno de los pilares de la economía de Sonora, (Cantú, 2011).

Para mantener una producción agrícola sostenida se han tenido que verter en el medio, grandes cantidades de sustancias químicas en forma de fertilizantes y plaguicidas. Muchos de estos residuos han tenido como descargas finales, ríos, estuarios y lagunas costeras que son hábitats de organismos marinos de interés comercial.

En el presente trabajo se pretende dar respuesta a la siguiente problemática: ¿Qué niveles de plaguicidas tendrá la Bahía de Yavaros y la Bahía de Lobos, Sonora?

Existen reportes de estudios realizados en algunas comunidades del valle del Yaqui expuestas a estos compuestos, donde la comunidad de Pótam, Sonora presentó la presencia de plaguicidas organoclorados al ser de alta exposición y los niños de Ciudad Obregón aun siendo de baja exposición también indicaron la presencia de plaguicidas organoclorados, (Orduño, 2010). Posteriormente estudios realizados por investigadores del ITSON detectaron y cuantificaron POC's en moluscos bivalvos procedentes del estero la atanasia. Santo Domingo, Valle del Yaqui, detectando bajas concentraciones de lindano, DDT, DDE, y endrín, (Sainz, 1989).

La utilización de plaguicidas en los 90's fue ampliamente aplicada sin control, tanto así que la producción de plaguicidas en México en 1995 fue aproximadamente de 38,711 ton, cabe señalar que la mayor parte de estos productos son insecticidas (13,405 toneladas) y entre los más importantes se tienen 4,582 toneladas de compuestos clorados, de los cuales corresponden a 1,100 toneladas de HCH (hexacloro ciclo hexano), 1,757 toneladas de DBCP (1,2 dibromo-3-hexano), 1,000 toneladas de DDT, 50 toneladas de endrín y 675 toneladas de toxafeno (NOM-021-ZOO-1995).

Con base a lo anteriormente expuesto, este trabajo tiene como propósito el medir la concentración de contaminantes en agua marina mediante la estandarización de una técnica de dispersión de matriz en fase sólida (DMFS) para la extracción y purificación de residuos de plaguicidas organoclorados en agua marina con la finalidad de caracterizar el grado de contaminación de su hábitat natural en el sur del estado de Sonora.

### *Fundamentación teórica*

La toxicidad derivada de la contaminación agrícola en el sur del Estado de Sonora tiene diferentes efectos sobre los organismos acuáticos y terrestres en la naturaleza. Para su evaluación se deberá utilizar cada vez más la estandarización de técnicas que permitan desarrollar metodologías de caracterización confiables y viables, estas se consideran como un complemento a la caracterización fisicoquímica convencional y para ello se utilizan especies de diferentes niveles tróficos de la cadena alimentaria. Los resultados obtenidos de la aplicación de los estudios de toxicidad han demostrado que pueden ser usados para identificar áreas de mayor o menor contaminación, también pueden ayudar a la selección de sitios para los cultivos de especies acuáticas de alto valor comercial como lo es el camarón, son utilizados en programas de monitoreo ambiental evaluando la calidad del agua y los sedimentos, así como los efluentes residuales que vierten en drenes agrícolas y zonas costeras; también se han utilizado para determinar la relación entre efectos tóxicos y biodisponibilidad, para investigar interacciones entre contaminantes, determinar distribución espacial y temporal de la contaminación y clasificar áreas para limpieza, entre las aplicaciones más estudiadas, (Ingersoll, 1995; Chapman, 2007).

Ciertos contaminantes ambientales, en su proceso de compartimentación se asocian al material particulado en los sedimentos y se producen equilibrios en la interfase agua-sedimentos, en la cual importantes procesos de sorción y desorción pueden determinar la biodisponibilidad de sustancias tóxicas. Muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos que se originan desde las actividades humanas son depositados y concentrados en la columna de agua y sedimentos acuáticos. La presencia de compuestos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un hecho constatado a nivel mundial, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX.

La existencia de estos sedimentos es debida tanto a los vertidos incontrolados desde industrias como a la utilización de productos químicos tales como los pesticidas que van a parar a las costas una vez que son transportados desde zonas agrícolas por las

aguas. Los tóxicos que entran a las aguas marinas de fuentes municipales, agrícolas e industriales pueden permanecer suspendidos en la columna de agua, ser incorporados a la biota acuática o depositados sobre el fondo e incorporarse en los sedimentos marinos. Algunos de estos contaminantes químicos son muy persistentes, mientras que otros son más susceptibles a transformaciones físicas, químicas o biológicas (Beg *et al.*, 2001). Una variedad de organismos están expuestos a los contaminantes en los sedimentos, directamente o indirectamente, una de las formas de exposición serán los animales que ingieren sedimentos o detrito particulado como alimento, ó mientras buscan alimento están directamente expuestos a los contaminantes.

Los análisis químicos se recomiendan como una parte esencial de cualquier evaluación de la toxicidad de sedimentos. Sin embargo, estos tienen algunas limitaciones importantes cuando se emplean solos para evaluar el potencial de toxicidad, (Chapman, 1983). Existen capacidades analíticas confiables en la detección y cuantificación en la mayoría de las sustancias químicas orgánicas en agua marina, mas no en tejido de organismos acuáticos, y para algunas sustancias existen métodos que son muy costosos para la aplicación de rutina. Nuestra comprensión limitada de la disponibilidad de los contaminantes procedentes de los drenes agrícolas también afecta la interpretación de los análisis químicos.

Los efectos de la química del agua y los diferentes tipos de materia orgánica necesitan ser estudiados más, al igual que las influencias de transferencia de la cadena alimentaria y otras incertidumbres inherentes en la aplicación del concepto a los ecosistemas marinos, (Bierman, 1990).

Se requiere de la estandarización de métodos y técnicas confiables y viables que permitan una caracterización rápida y efectiva de los ambientes contaminados costeros, así como de los organismos que lo habitan. De esta manera se puede tener una evaluación inmediata ante fenómenos que pudieran poner en riesgo el hábitat natural de especies de interés comercial.

### Metodología

La Bahía de Yavaros se encuentra ubicada en el Municipio de Huatabampo, Sonora, México y sus coordenadas son latitud: 26°41'49.94"N, longitud: 109°30'55.31"W (Figura 1), y la Bahía de Lobos se localiza en el municipio de San Ignacio Rio Muerto del Estado de Sonora, México. Sus coordenadas geográficas son longitud: 27° 21' 06''N, latitud:-110° 27' 17O" (Figura 2). Para investigar la incidencia de POC's se tomaron un total de 5 muestras en cada Bahía, el trabajo comenzó con la selección de estaciones de muestreo colindantes a las descargas de los drenes agrícolas en las Bahías de Yavaros y Lobos. Se realizó una medición durante los meses de febrero-mayo considerando los hábitats naturales de *Artemia*. Se tomaron 5 muestras de agua marina por mes utilizando contenedores de color ámbar de vidrio de 1L de capacidad con tapadera de rosca y boca ancha, se transportarán en hieleras hasta las instalaciones del Laboratorio de Toxicología del CIIBAA en la Unidad Obregón del ITSON.



Figura 1. Localización de los puntos de muestreo en Bahía de Yavaros.

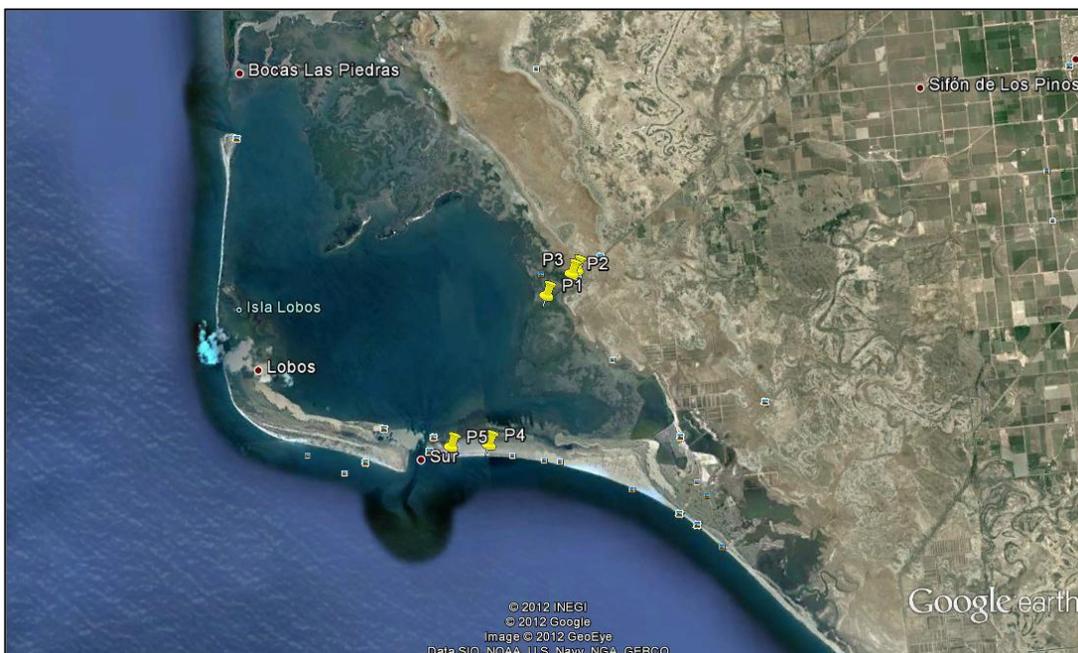


Figura 2. Localización de los puntos de muestreos en Bahía de Lobos.

Los sitios de muestreo fueron seleccionados utilizando el Google Earth Programa de 2007 y ubicado físicamente, mediante un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GARMIN modelo Etrex). Todas las muestras de agua fueron almacenadas no más de una semana en frascos ámbar en refrigeración hasta su análisis. La extracción de los residuos de los POC's en agua se realizó por dispersión de matriz en fase sólida (DMFS), de acuerdo con Valenzuela *et al.* 2006. El óxido de aluminio se inactivó a 900°C durante 12 horas y después se ajustó a 9% de humedad (NOM-021-ZOO-1995). Las muestras de agua (500  $\mu$ L) fueron agregadas en un mortero y maceradas con 0,6 g de óxido de aluminio para la dispersión.

Para la purificación en una jeringa de vidrio de 5mL (utilizada como columna) se empacó en el fondo con fibra de vidrio como filtro y sobre la fibra de vidrio se colocó 2.6g de alúmina inactiva agregando a la muestra dispersa, acomodándola de tal manera que la superficie se mantuviera horizontal.

Se agregó hexano en el mortero para enjuagar el polvo residual y se vertió a la jeringa para iniciar la elución. Se colectó el solvente hasta obtener 40 mL de eluato aproximadamente en tubos cónicos de 50 mL.

Se llevó a evaporar el eluato a sequedad en un rotavapor N-EVAP (Organomation associates, Model 11155RT) con temperatura no mayor a 40 °C y con flujo de aire puro (encampana para evitar contacto de vapores). Se reconstituyó la muestra con 100 µL del mismo solvente para inyectarse en el Cromatógrafo de Gases.

Todos los POC's analizadas incluyeron una muestra blanco o control negativo (libre de agua marina), y adicionando un control positivo (muestra de agua marina con 100 µL de una mezcla de plaguicidas organoclorados de concentración conocida) y un blanco de reactivo.

Las muestras fueron analizadas por CG usando un Agilent 7890A sistema equipado con detector de microcaptura de electrones (µCDE) y 7683B Series autoinyector de muestras (Agilent Technologies) y con columna capilar DB-5 (30 m X 0.250 mm X 0.25 µm). El Helio fue usado como acarreador de gas a 2.3 mL min<sup>-1</sup> bajo modo de flujo constante. El Helio fue filtrado para remover humedad con carbón activado y filtros de oxígeno antes de entrar al sistema de CG. La temperatura del horno se programó inicialmente a 110°C (1 min), final 280°C (2 min) (Velocidad: 15°C/ min) hasta llegar a 280°C). La temperatura del inyector fue de 270 °C operando en inyecciones de 1µL.

### *Resultados y discusión*

En el estudio la recuperación de 5 muestras de agua adicionando un estándar de 12 POC's (500 µL) mostró un 79-120 % de recuperación con un coeficiente de variación menor a 15 %. La curva de calibración para cada plaguicida se realizó de 0 a 1000 ppb, consiguiendo coeficientes de regresión ( $R^2$ ) superior a 0.99.

La Bahía de Yavaros presentó 10 de los 11 plaguicidas organoclorados analizados (alfa HCH, gamma HCH, Heptacloro, Aldrin, Endosulfan, PP-DDE, Endrín, pp-DDD, pp-DDT, Metoxicloro, Mirex) en agua marina de los cuales 3 de ellos (Aldrín, Endrín, HCH) están prohibidos y 2 más (DDT y Metoxicloro) restringidos en su uso según el Diario Oficial de la Federación publicado en 1991 (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles de POC's ( $\mu\text{g/L}$ ) en agua de la Bahía de Yavaros.

Medias Yavaros	alfa HCH	gamma HCH	Heptacloro	Aldrin	Endosulfan	PP-DDE	Endrin	pp-DDD	pp-DDT	Metoxicloro	Mirex
febrero	0.0070423	8.14085	10.2535	8.13732	1.95775	2.67606	0	0	2.33803	0	0
marzo	10.4648	4.07394	11.1514	10.7782	6.35211	6.26761	1.97042	0	3.97183	4.40845	0
abril	0.746479	1.06338	0	0.373239	5	0.985915	0	0	4.08451	0	0
mayo	2.01408	5.76408	6.18662	12.7852	6.47887	7.91549	0	12.2042	0	0	0

En cuanto a Bahía de Lobos se encontró 8 de los 11 plaguicidas analizados (alfa HCH, gamma HCH, Heptacloro, Aldrin, Endosulfan, PP-DDE, Endrin, pp-DDD, pp-DDT, Metoxicloro, Mirex) en agua marina de los cuales 3 de ellos (Aldrin, Endrin, HCH) están prohibidos en su uso según el Diario Oficial de la Federación publicado en 1991, (Tabla 2).

Tabla 2. Niveles de POC's ( $\mu\text{g/L}$ ) en agua de la Bahía de Lobos.

Medias Lobos	alfa HCH	gamma HCH	Heptacloro	Aldrin	Endosulfan	PP-DDE	Endrin	pp-DDD	pp-DDT	Metoxicloro	Mirex
febrero	0.190845	0	0.0422535	0.0035211	0	4.0563	10.0387	4.05634	0	0	0
marzo	0.159155	2.61268	0.295775	2.75	0	6.33803	1.69366	0	0	0	0
abril	0.882746	5.33803	2.40845	4.33451	0	8.19718	1.69366	0	0	0	0
mayo	0	15.9225	17.0282	11.3592	8.35634	6.25352	1.69366	0	0	0	0

### Conclusiones

Con base en los resultados anteriores obtenidos, tanto en Bahía de Yavaros como en Bahía de Lobos se concluye que estos cuerpos de agua presentan indicios de contaminación debido a la presencia de plaguicidas organoclorados prohibidos y restringidos en su uso de acuerdo al Diario Oficial de la Federación publicado en 1991.

### Referencias

Beg MU, Al-Muzaini S, Saeed T, Jacob PG, Beg KR, Al-Bahloul M, Al-Matrouk K, Al-Obaid T, Kurian A. (2001). *Chemical contamination and toxicity of sediment from a coastal area receiving industrial effluents in Kuwait*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 41: 289-297.

- Bierman, V.J. (1990). *Equilibrium partitioning and biomagnification of organic chemicals in benthic animals*. Environ. Sci. Technol. 24, 1407-1412.
- Cantú, E, Meza M, A.I. Valenzuela-Quintanar. (2011). *Residues of Organochlorine Pesticides in Soils from the Southern Sonora, Mexico*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. Springer Science Business Media. LLC.
- Chapman, P.M. (2007). *Determining when contamination is pollution weight of evidence determinations for sediments and effluents*. Environmental International 33: 492-501.
- Chapman, P.M. y Long, E.R. (1983). The use of bioassays as part of a comprehensive approach to marine pollution assessment. Mar. Pollut. Bull. 14, 82-84.
- Ingersoll CG. (1995). *Sediment toxicity test*. In: Rand GM, editor. Fundamentals of aquatic toxicology. 2nd Ed. Washington DC: Taylor & Francis. Pp. 231-255.
- Instituto Nacional de Ecología. (1991). *Plaguicidas Autorizados pero cuyo uso ha sido restringido en el catálogo oficial de plaguicidas*. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. México.
- Instituto Nacional de Ecología (1991). *Plaguicidas prohibidos en México*. Conforme al Diario Oficial de la Federación. México.
- NOM-021-ZOO (1995). *Análisis de residuos de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de gases*. Diario Oficial de la Federación. México.
- Orduño, R. (2010). *Niveles de plaguicidas organoclorados en niños de la comunidad de Pótam, Sonora y evaluación de posibles rutas de exposición*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México. Pp. 89-109.
- SAGARPA (2011). *Monitor AGROECONOMICO*. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. Sonora, México. 5p.
- Sainz, C. (1989). *Determinación de plaguicidas organoclorados por cromatografía gas-líquido en moluscos bivalvos en el sistema estuarino La Atanasia, Santo Domingo, Valle del Yaqui*. Tesis de Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México. Pp. 21.
- Valenzuela-Quintanar A, Armenta Corral A, Moreno Villa R, Gutiérrez Coronado L, Grajeda Cota P, Orantes Arenas C (2006). *Optimization and validation of a method based on matrix solid-phase dispersion for organophosphorus pesticides in vegetables*. Rev Fac Agron 23(4):471-482.

## Capítulo V. Frecuencia de consumo de bebidas energizantes en estudiantes

Laura Elisa Gassós Ortega, Yarir del Carmen Ibarra Gil, María Isabel Estrada Alvarado,  
Raúl Holguín Soto y Blanca Lorenia Reyes Blanco  
Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [laura.gassos@itson.edu.mx](mailto:laura.gassos@itson.edu.mx)

### *Resumen*

Las bebidas energizantes contienen azúcar y aditivos químicos que afectan el metabolismo y sistema nervioso. Se evaluó la ingesta de bebidas energizantes en estudiantes mediante frecuencia de consumo de alimentos para detectar su uso y percepción durante exámenes y al hacer ejercicio. La investigación fue transversal. Participaron 299 alumnos de educación media superior y superior de Cd. Obregón, Sonora. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia. Se aplicó el método de Frecuencia de Consumo de Alimentos elaborando un instrumento con las bebidas comercializadas en la localidad. Se incluyeron bebidas que contienen azúcar como los refrescos de cola; además de bebidas que contienen aditivos que estimulan el sistema nervioso como Red Bull y similares. También se incluyeron preguntas abiertas asociadas con el consumo de las bebidas energizantes, sobre las percepciones al estudiar en períodos de exámenes y al hacer ejercicio. Los resultados se calcularon con el software estadístico Statgraph. Los refrescos de cola resultaron con la mayor frecuencia de consumo promedio al mes con 18.49, seguido por café con azúcar con 6.61. De las bebidas con aditivos químicos “monster mezclada con alcohol” obtuvo una frecuencia de consumo promedio al mes de 0.74. El 69% de los alumnos no percibió mejora en sus exámenes por consumir las bebidas. El 45% de los encuestados tampoco observaron mejorar en su ejercicio. El refresco de cola fue la bebida energizante de mayor consumo entre los estudiantes entrevistados.

Palabras clave: bebidas energizantes, estudiantes, cafeína, alcohol.

### *Introducción*

Una tendencia reciente entre los jóvenes del mundo es el consumo de bebidas energizantes mezcladas con alcohol (por ejemplo red bull con vodka). Su ingestión se asocia con un mayor número de accidentes y lesiones automovilísticas además de otros efectos adversos (Biggard, 2010; Pennay *et al.*, 2011). Aunque el efecto perjudicial a la salud de las bebidas energizantes se asocia a su contenido de cafeína, la evidencia

científica aún es limitada. Al mezclar estas bebidas con alcohol, se cree que la presencia de taurina, enmascara los efectos fisiológicos provocando un mayor consumo de la mezcla. El envenenamiento por alcohol, conducir en malas condiciones y las malas conductas (como tener sexo sin protección), podrían ser algunas de las consecuencias adversas del consumo de estas bebidas entre los estudiantes (Higgins *et al.*, 2010).

Debido a la carencia de regulación sobre el contenido de cafeína en estas bebidas y la falta de advertencias en el etiquetado, su mercado se ha extendido agresivamente dirigiéndose principalmente a deportistas, estudiantes y adultos. Lo más preocupante es que estos productos también están disponibles para niños y adolescentes (Seifert *et al.*, 2011). Estudios sugieren que las bebidas energizantes podrían servir como puerta de entrada a otras formas de dependencia de las drogas (Reissig *et al.*, 2009), Por la creciente popularidad de estas bebidas mezcladas con alcohol, esta investigación se realizó para evaluar el consumo de bebidas energizantes en estudiantes mediante frecuencia de consumo de alimentos para detectar su uso y percepción durante exámenes y al hacer ejercicio.

### *Fundamentación teórica*

Las bebidas energéticas se venden desde hace más de 20 años en países como Brasil, Chile, Nueva Zelanda, Australia, E.U., Argentina, incluyendo México. En el Municipio de Cajeme las bebidas energizantes que se pueden encontrar son Gatorade, Monster, Blue Shot, Rock Star, Venom, Boost, Gladiator, Vitamin Water, Bomba y Red Bull, entre otras.

En México, en el 2010, su valor en el mercado fue de aproximadamente 700 millones de dólares anuales, siendo líder la bebida Red Bull. Según Euromonitor International Latin America, el consumo nacional de tales productos aumentó 64% entre el 2003 y el 2008, diez veces más que la demanda de refrescos, que durante el mismo periodo, sólo se elevó en 6.7% (Universia, 2010).

De acuerdo a un sondeo realizado a inicios de 2011 por la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) a nivel nacional, los principales compradores de bebidas

energizantes fueron estudiantes en período de exámenes, profesionistas con alto grado de estrés, deportistas y jóvenes que pretenden alargar la fiesta; asimismo, siete de cada 10 personas han consumido estos productos, mientras que la mitad de éstos los ingieren por lo menos una vez al día (Hermosillo, 2011).

### *Metodología*

Se realizó una investigación descriptiva y transversal. El estudio se realizó durante los meses de Agosto del 2010 a Agosto del 2011. Participaron 299 alumnos de educación media superior y superior, de sexo indistinto, estudiando en Pueblo Yaqui y Ciudad Obregón Sonora. Se eligieron a los participantes por la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia. De acuerdo a Sanjur & Rodríguez (1997) se aplicó el método de Frecuencia de Consumo de Alimentos adaptando primero el instrumento con el listado de 20 bebidas que se encontraron de mayor venta en tiendas de autoservicios de la localidad de acuerdo a la investigación exploratoria realizada por Soto & Ibarra (2011). Entre las bebidas se seleccionaron la que contienen azúcar como refrescos de cola, café y gatorade; además de aquellas que contienen aditivos (ejemplo cafeína) para estimular el sistema nervioso. Entre éstas últimas bebidas se seleccionaron red bull, monster, boost, entre otras. En el listado las bebidas con aditivos aparecían solas o combinadas con alcohol.

El cuestionario se estructuró en tres secciones. En la primera sección se presentó el nombre del instrumento, el objetivo de la investigación y las instrucciones de llenado, se indicando la necesidad de una respuesta para cada bebida de acuerdo a la escala de frecuencia de consumo “nunca”, “una vez al día”, “más de una vez al día”, “una vez a la semana”, “una vez al mes”, tal como lo indica el método en su parte cualitativa. En la segunda sección se preguntaron datos generales del participante con la intención de conocer algunas de sus características como edad, sexo, estado civil, si trabajaba o no, con quién vivía y su nivel de estudios. En la tercera sección se mostró en formato de tabla, el listado de las bebidas en la primera columna y las frecuencias de consumo en la primera fila. Finalmente, siguiendo las indicaciones de Anguita et al. (2003), en la

tercera sección se presentaron ocho preguntas de opción múltiple con el objetivo de conocer si existía el hábito de consumo de las bebidas energizantes en los alumnos en dos momentos principales, cuando estudiaba para exámenes y cuando hacía ejercicio. Se utilizó una escala tipo Likert con las respuestas “nada”, “muy poco”, “raramente”, “casi siempre” y “siempre”. La última pregunta fue abierta para conocer los síntomas después de la ingestión de algunas de las bebidas con aditivos mezcladas con alcohol. La aplicación del instrumento se hizo en las escuelas, invitando a los alumnos a participar mediante la técnica de entrevista cara a cara. El análisis estadístico de las frecuencias de consumo de las bebidas se hizo con el software Statgraph ver 4.0. Los resultados de las preguntas de opción múltiple se organizaron y graficaron utilizando Excel 2007 y la distribución de frecuencias se calculó con el software estadístico.

### *Resultados y discusión*

De los 299 estudiantes que participaron en este estudio se encontró que el 40.13% eran hombres y el 59.87% eran mujeres (ver tabla 1). Las edades de los participantes estuvieron en los rangos de 16 a 17 años con 43.8% y de 18 a 23 años con 50.2%, el resto eran mayores de 24 años. Se encontró además que el 95.7% eran solteros y solo trabajaban el 26.7% (ver tabla 2). El 93% comentó que vivían con la familia. Además se encontró que el 70.9% de los entrevistados estudiaban bachillerato y 28.76% la universidad (ver tabla 3).

Tabla 1. Resultados de la distribución de frecuencias de sexo y edad de los participantes.

<b>Edad</b>	<b>16-17 años</b>	<b>18-23 años</b>	<b>&gt;24 años</b>	<b>Total por fila</b>
<b>Masculino</b>	52 17.39%	61 20.40%	7 2.34%	120 40.13%
<b>Femenino</b>	79 26.42%	89 29.77%	11 3.68%	179 59.87%
<b>Total por columna</b>	131 43.81%	150 50.17%	18 6.02%	299 100.00%

Tabla 2. Resultados de la distribución de frecuencias de sexo y trabajo de los estudiantes entrevistados.

<b>Trabajo</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Total por fila</b>
<b>Masculino</b>	41 13.71%	79 26.42%	120 40.13%
<b>Femenino</b>	39 13.04%	140 46.82%	179 59.87%
<b>Total por fila</b>	80 26.76%	219 73.24%	299 100.00%

Tabla 3. Resultados de la distribución de frecuencias de edad y nivel de estudios de los alumnos entrevistados.

<b>Nivel de estudios</b>	<b>Bachillerato</b>	<b>Universidad</b>	<b>Total por fila</b>
<b>16-17 años</b>	128 42.67%	4 1.33%	132 44.00%
<b>18-23 años</b>	85 28.33%	65 21.67%	150 50.00%
<b>&gt;24 años</b>	0 0.00%	17 6.00%	17 6.00%
<b>Total por columna</b>	213 71.00%	86 29.00%	299 100.00%

Los resultados de las frecuencias de consumo de las bebidas estudiadas se muestran en la figura 1. La bebida de mayor frecuencia de consumo fue el refresco de cola con un promedio al mes de 18.49. El café con azúcar que se encontró en segunda posición, obtuvo un promedio de frecuencia de consumo al mes de 6.61, casi tres veces menos que el refresco de cola. Estas bebidas son las que contienen azúcar como fuente de energía y afectan el metabolismo energético. En relación a las bebidas que contienen aditivos que estimulan el sistema nervioso se encontraron frecuencias de consumo máximo de 0.74 para “monster” mezclada con alcohol y 0.15 para “rock star”, siendo de 24.98 a 123.26 veces menos consumidas que los refrescos de cola.

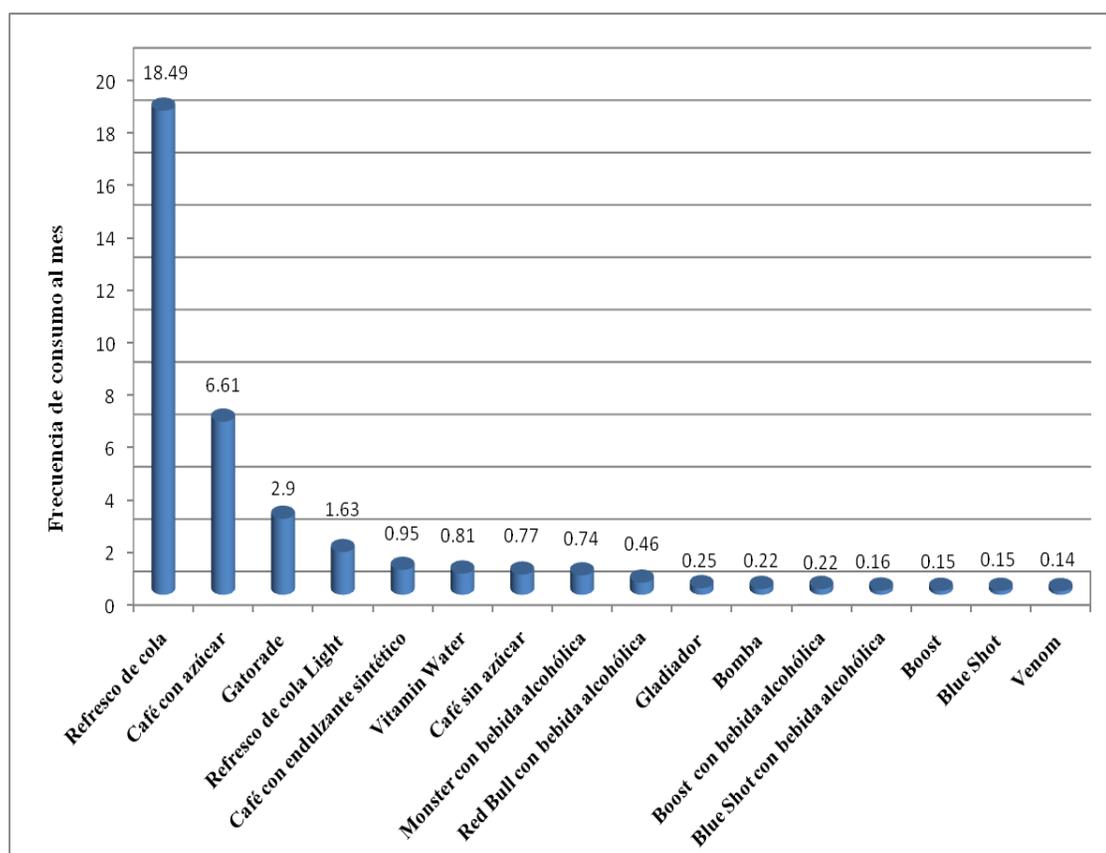


Figura 1. Frecuencia de consumo al mes de las bebidas energizantes.

En México, el consumo anual de refrescos es de 120 litros. Dentro de este consumo un 74 % corresponde a los refrescos de cola. Se estima que debido al alto consumo de los refrescos, los mexicanos aumentarán en promedio 12 kilos anuales. Los refrescos de cola son productos que forman parte de la alimentación diaria de las familias mexicanas, ya que su sabor y presentación le han dado importancia al consumidor. El refresco tiene un alto consumo, siendo este producto el primero en ventas por las estrategias en publicidad de la marca, que logran captar consumidores (Reyes, 2006).

En cuanto al consumo de las bebidas energizantes durante los períodos de exámenes, se encontró que el 47% de los alumnos no consume ningún tipo y solo el 4% dijo que si las consumían. Además el 69% comentó que no mejora en “nada” el

aprendizaje al consumir algunas de las bebidas incluidas en esta investigación. En forma similar, Ballistreri & Corradi-Webster (2008) reportaron que el 4.4% de estudiantes argentinos las consumen para estudiar.

En la práctica del deporte, el 44% de los alumnos mencionó que no acostumbra a tomar ninguna de esas bebidas y el 11% siempre lo hace. El 45% dijo que no siente mejora en su rendimiento deportivo y el 7% dijo que siempre siente mejora. Estudiantes de educación física de Argentina consumen bebidas energizantes antes de practicar deportes (14.6%) y después de practicar deportes (5.8%) (Ballistreri & Corradi-Webster, 2008).

Finalmente, al preguntar abiertamente si consumían las bebidas energizantes mezcladas con alcohol se encontró que el 66% dijo que no lo hace, el 18% lo hace “muy poco”, el 12% contestó que “raramente” las mezcla, el 3% “casi siempre” lo hace y solo el 1% dijeron que “siempre” las consumen mezcladas con alcohol. Otras investigaciones (Seifert *et al.*, 2011) reportan que del 30 al 50% de los adolescentes consumen bebidas energizantes y han entrado en debates de regulación del etiquetado y venta de estos productos por los riesgos a la salud de los jóvenes.

Los resultados de la encuesta aplicada por la PROFECO (2011) al analizar 12 marcas de bebidas energéticas de venta en México, mostraron que el 73% consumen bebidas energizantes, siendo la frecuencia de consumo de 47% a la semana y 25% al mes. La marca de mayor consumo fue Red Bull con 54%. Además, 7% de los encuestados indicó que siempre las mezcla con alcohol, principalmente vodka y whisky. Asimismo, al comparar el contenido de cafeína de estas bebidas con lo que contiene una taza de café (80 mg) o una lata de 355 ml de refresco de cola (40 mg), encontraron que la marca RedLine en su presentación de 240 ml, contiene 322 mg de cafeína, lo cual equivale a cuatro tazas de café o bien, 8.1 latas de refresco de cola. De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-218-SSA1-2011, en ningún caso la ingesta de cafeína por el consumo de estas bebidas debe exceder de 165 mg de cafeína por día.

### Conclusiones

Los estudiantes encuestados toman con mayor frecuencia de consumo refrescos de cola, ya sean de nivel medio superior o superior, aunque el refresco de cola no se considera una bebida energizante de acuerdo a la NOM-218-SSA1-2011, sin embargo se incluyó en el estudio por su contenido de azúcar y cafeína. Es muy bajo el porcentaje de alumnos que consume bebidas energizantes solas y mezcladas con alcohol. Es posible que el bajo consumo de las bebidas se deba al mayor precio con respecto a los refrescos de cola. Asimismo se observó que el término hábito de consumo tuvo un efecto sobre las respuestas en las preguntas de opción múltiple, ya que comentaron que las consumían pero no tenían el hábito.

Por otro lado, el mayor porcentaje de los estudiantes no tienen ingresos económicos propios, dependen económicamente de la familia, por lo cual se considera que sería interesante investigar si la población económicamente activa consume este tipo de bebidas.

### Referencias

- Anguita, J. C., Repullo, J. R. & Donado, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Aten Primaria*, 31(8):527-538
- Ballistreri, M. & Corradi-Webster, C. (2008). El uso de bebidas energizantes en estudiantes de educación física. *Revista Latino-americana Enfermagem*. 16 (especial). Recuperado en enero del 2012 en: [http://www.scielo.br/pdf/rlae/v16nspe/es\\_09.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rlae/v16nspe/es_09.pdf)
- Biggard, A.X. (2010). Risks of energy drinks in youths. *Arch Pediatr*. 17(11):1625-1631.
- Hermosillo, H. (2011). Cuidado con las bebidas energizantes: PROFECO. Sitio electrónico de: [aguasdigital.com](http://aguasdigital.com). Recuperado el 14 de septiembre de 2011 en: <http://www.aguasdigital.com/metro/leer.php?indota=27961>
- Higgins, J.P., MPhil, M.D., Tuttle, T.D. & Higgins, C.L. (2010). Energy Beverages: Content and Safety. *Mayo Clin Proc*. 85(11):1033-1041

- NORMA Oficial Mexicana NOM-218-SSA1-2011. Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba. Consultada el 25 de abril de 2013, en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5233379&fecha=10/02/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5233379&fecha=10/02/2012)
- Pennay, A., Lubman, D.I. & Miller, P. (2011). Combining energy drinks and alcohol. A recipe for trouble? *Australian Family Physician*. 40(3): 104-107
- PROFECO (2011). Estudio de calidad: bebidas energéticas. La chispa enlatada. *Revista del Consumidor*. Pp 26-43. Recuperado el 25 de abril de 2013, en: <http://revistadelconsumidor.gob.mx/wp-content/uploads/2011/04/pdf-bebidas2.pdf>
- Reissig, C.J., Strain, E. C. & Griffiths, R.R. (2009). Caffeinated Energy Drinks -- A Growing Problem. *Drug Alcohol Depend.* 1; 99(1-3): 1–10
- Reyes, M. (2006). Coca cola es de los consumidores. *MK Marketing + Ventas* (217): 42. Recuperado el 25 de abril de 2013 en: [http://marketingmasventas.wke.es/noticias\\_base/coca-cola-es-de-los-consumidores](http://marketingmasventas.wke.es/noticias_base/coca-cola-es-de-los-consumidores)
- Sanjur, D. & Rodríguez, M. (1997). Evaluación de la ingesta dietaria. Aspectos selectos en la coelcción y análisis de datos. Cornell University. pp 34-44
- Seifert, S.M., Schaechter, J.L., Hershorin, E.R. & Lipshultz, S.E. (2011). Health effects of energy. *Pediatrics*. 127(3):511-528.
- Soto, L.G. & Ibarra, Y.D.C. (2011). Frecuencia y hábitos de consumo de bebidas energizantes en estudiantes de 16 a 30 años del Municipio de Cajeme. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Sonora, México.
- Universia. (2010). Bebidas energéticas pueden dañar la salud. Recuperado el 25 de abril del 2013, en: <http://noticias.universia.net.mx/en-portada/noticia/2010/07/06/387807/bebidas-energeticas-pueden-danar-salud.html>

## **Capítulo VI. Evaluación de la ingesta dietaria y composición corporal de un equipo universitario femenino de balonmano**

Araceli Serna Gutiérrez, Arturo Osorio Gutiérrez, Hebert David Quintero Portillo, Pedro Julian Flores Moreno e Iván de Jesús Toledo Domínguez  
Departamento de Sociocultural  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [aserna@itson.mx](mailto:aserna@itson.mx)

### *Resumen*

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la ingesta dietaria y la composición corporal del equipo selectivo femenino de balonmano del Instituto Tecnológico de Sonora. El trabajo se llevó a cabo con la participación de seis atletas con edades de entre los 18 y 25 años de edad. Para la determinación de la ingesta dietaria se aplicó un recordatorio de 24 horas, para la determinación de la composición corporal se realizaron mediciones antropométricas. Los resultados indicaron un consumo de energía de las deportistas fue de  $2373 \pm 209.26$  kcal. En cuanto a la distribución energética se tuvo un porcentaje de 57, 29 y 14 por ciento para carbohidratos, lípidos y proteínas respectivamente. En relación a los micronutrientes se tuvo un exceso en consumo de vitamina C y A así como de los minerales calcio, hierro, zinc y sodio y una deficiencia de vitamina E y potasio. La composición corporal presentó un valor de  $26.54 \pm 3.42$  de porcentaje de grasa. Tanto la ingesta dietaria y la composición corporal no son los adecuados para la disciplina que practican.

### *Introducción*

El papel que tiene la alimentación en la práctica deportiva es de gran importancia (Kalman & Campel, 2004; Grandjean & Rud, 2004; Tedeshi, Bernardet, Steward, 2003 y Comité Olímpico Internacional, 2004). La Asociación Americana de Dietética (ADA), Asociación de Dietistas de Canadá (ADC) y el Colegio Americano de Medicina (ACSM) del Deporte sostienen que una nutrición óptima favorece la actividad física, el rendimiento atlético y la recuperación después del ejercicio. Así mismo, estas instituciones recomiendan una apropiada selección de alimentos y bebidas, una buena administración de los mismos a lo largo del día, y la elección de suplementos para lograr un rendimiento físico óptimo y saludable (ADA, 2011). Una adecuada ingesta de nutrientes permite la recuperación de los combustibles energéticos que conllevan al organismo a prepararse para esfuerzos posteriores (Bean, 2006; Onzari, 2004; Rowlands, Rossler, Thorp, Graham, Timmons, Stannard, Tarnopooloski, 2008). En este sentido es importante conocer el estado de nutrición del atleta incluyendo su ingesta dietaria para evitar una posible deficiencia de

nutrientes que puedan llevar al deportista a una disminución de sus reservas celulares y comprometer su rendimiento deportivo.

Aún y cuando los beneficios de una nutrición adecuada en el deporte son conocidos los atletas recurren a prácticas alimentarias poco saludables como restricción calórica, largos períodos de ayuno, bajo consumo de frutas y verduras o exceso en el consumo de ciertos alimentos ricos en grasa. Estas prácticas alimentarias pueden dar lugar a alteraciones metabólicas que ponen en riesgo la salud del atleta y su rendimiento deportivo (Williams, 2002; Grandjean & Rud, 2004; Frideres & Palao, 2005; Castillo, Sánchez, Ramírez, Zabala, 2010; Úbeda, Palacios, Antuñano, Zenarrusabetita, García, García, Iglesias, 2010).

Williams (2004), asevera que en encuestas realizadas a diferentes grupos de atletas se demostró que aunque algunos de ellos consumen la cantidad y calidad de nutrientes adecuada, otros presentan unos hábitos alimentarios deficitarios, dichas deficiencias se presentan en categorías que van desde el ámbito universitario al olímpico, siendo las mujeres quienes suelen presentar mayores deficiencias nutricionales que los hombres. Así mismo, existen diversos estudios e investigaciones sobre el punto anterior (Grandjean & Ruud, 2004; Frideres & Palao, 2005; Van Erp-Baart, Saris, Binkhorst, Vos & Elvers, 1989; citado por Grandjean & Ruud, 2004).

En relación a la composición corporal contribuye a lograr un rendimiento deportivo óptimo. Junto con el peso corporal la composición puede afectar el potencial de un atleta de un deporte determinado pudiendo influir en la velocidad, resistencia potencia, fuerza y agilidad. Los atletas, sobre todo los que participan en deportes en categorías de peso, pueden verse presionados para bajar de peso sujetándose a restricciones energéticas extremas y a una consecuente pérdida de la masa muscular y grasa, lo que puede influir negativamente en su desempeño. De igual forma, el exceso de grasa corporal también puede ser una limitante en el desempeño deportivo (Asociación Americana de Dietética, 2009; Bean, 2006; Comité Olímpico Internacional, 2003). Existe evidencia de que algunos deportistas no tienen una composición corporal adecuada para la práctica de su deporte, dichos comportamientos se pueden observar en la mayoría de los niveles competitivos incluyendo el universitario, (Prado, García, Arteaga, 2008; Valdez, 2010).

Por otro lado, si bien los atletas universitarios son considerados estudiantes, es innegable su importancia como deportistas ya que muchos de ellos además de representar a

su universidad representan a México en competencias internacionales, así mismo, los atletas universitarios podrían llegar a representar a México en juegos olímpicos. Sin embargo, aunque muchas universidades apoyan el deporte e invierten recursos económicos en este, la atención que estos atletas reciben en muchos casos no es la más adecuada, estando carentes de un control y cuidado médico adecuado así como una alimentación que le permita cubrir el gasto energético y sus necesidades nutricias tanto para práctica deportiva exitosa como para sus actividades académicas (Castelo 2008; Díaz, 2006; Valdez, 2010).

Ante esto último la Comisión Nacional del Deporte en México (CONADE, 2008) ha indicado que es necesario un control médico estricto en deportistas de competición de todos los niveles mediante pruebas de evaluación morfofuncionales, controles de dopaje, exámenes químicos y de bioquímica deportiva, terapia física y rehabilitación así como el cuidado de una alimentación adecuada lo cual coadyuva a una mejor preparación física de los atletas.

Por lo tanto, es importante la evaluación constante de los atletas universitarios en aquellas variables que afectan su rendimiento deportivo como lo son la ingesta dietaria y la composición corporal. Además, realizar este tipo de evaluaciones desde el deporte universitario permitirá hacer más sostenible el deporte en México.

#### Planteamiento del problema

La alimentación en diferentes grupos de atletas que van desde universitarios hasta olímpicos presenta deficiencias nutricionales que influyen también en su composición es decir tienen hábitos inadecuados de alimentación, lo que podría repercutir en su rendimiento deportivo. ¿Cómo será la ingesta dietaria, composición corporal y somatotipo de las integrantes del selectivo de balonmano del Instituto Tecnológico de Sonora?

#### Objetivo

Evaluar la ingesta dietaria y composición corporal del equipo representativo femenino de balonmano del Instituto Tecnológico de Sonora para saber si son adecuadas para su disciplina deportiva.

## Hipótesis

La ingesta dietaria y la composición corporal de las atletas del equipo universitario por parte los atletas de equipos representativos del ITSON y su composición corporal no es el recomendado, por lo que su composición corporal no cumple con lo demandado para el deporte que practican.

## *Fundamentación teórica*

El papel que tiene la alimentación en la práctica deportiva es de gran importancia (Kalman & Campel, 2004; Grandjean & Rud, 2004; Tedeshi, Bernardet, Steward, 2003 y Comité Olímpico Internacional, 2004). Por ello, es importante que el deportista mantenga una dieta correcta que le proporcione la suficiente energía y el adecuado aporte de carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales tomando en cuenta su edad, sexo y especialidad deportiva la cual le permitirá llegar de una manera más rápida a la recuperación y reparar los tejidos musculares. (Bean, 2006; Onzari, 2004; Rowlands, Rossler, Thorp, Graham, Timmons, Stannard, Tarnopooloski, 2008).

Con relación a la ingesta de carbohidratos tanto la asociación americana de dietética (2009) y el comité olímpico internacional (2004), indican que esta debe de ser abastecida dependiendo a las demandas del programa de entrenamiento, sexo y edades específicas cada atleta y tienen que ser ajustadas considerando las necesidades de energía total del deportista. Por lo que recomiendan que el consumo de carbohidratos represente del 50 al 60 por ciento de la energía total.

En cuanto a las grasas, son un nutriente necesario para la práctica deportiva ya que proveen de energía al atleta así como de las vitaminas A, D, E y K. En cuanto a la recomendación de este macronutriente la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (2011) recomienda un consumo de lípidos del 20 al 35 por ciento de la energía total, dentro de los cuales las grasas insaturadas deben consumirse en mayor proporción que las saturadas.

Las proteínas tienen un rol importante en la respuesta del entrenamiento. Los aminoácidos de las proteínas forman componentes básicos para la fabricación de nuevo tejido incluyendo el músculo, y la reparación del tejido (Comité Olímpico Internacional, 2004). En cuanto a las recomendaciones del consumo de proteínas el Comité Olímpico

Internacional (2004) indica que algunos científicos deportivos han sugerido que el ejercicio de entrenamiento y resistencia pueden aumentar las necesidades de proteína diarias hasta un máximo de 1.2 - 1.6 g por kilogramo del peso del atleta, comparado al consumo recomendado el cual es de 0.8 g / kilogramo del peso para una persona sedentaria, en relación al consumo de energía las proteínas deben aportar del 10 al 35 por ciento.

Con relación a vitaminas y minerales, éstas juegan un papel de gran importancia para la producción de energía, síntesis de hemoglobina, mantenimiento de los huesos, función adecuada del sistema inmune, producción de antioxidantes, etc. Las recomendaciones para cada una de las vitaminas y minerales para deportistas son las mismas que para población general y están delimitadas por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (2011), dichas recomendaciones son avaladas por la Asociación Americana de Dietética y el Colegio Americano de Medicina del Deporte (2009).

En cuanto a la composición corporal, según Williams (2004), la acumulación excesiva de tejido graso puede ser una desventaja para el desempeño del atleta en deportes que haya que desplazarse, pues disminuye la capacidad de fuerza, velocidad y resistencia. Por lo que existen valores generales de grasa corporal para una eficiente práctica deportiva. La Asociación Americana de Dietética (2004) había indicado que el porcentaje de grasa en deportistas femeninas debe de ser del 10 al 20 por ciento de grasa, actualmente la recomendación es que el porcentaje de grasa no sea menor al 5 por ciento en hombres y 12 por ciento en mujeres (ADA, 2009). Wilmore & Costill (2004), indican que el porcentaje óptimo de grasa para deportistas de balonmano se encuentra entre un 12 y un 18 por ciento, sin embargo, los autores no hacen mención al género.

### *Metodología*

El tipo de estudio fue descriptivo, no experimental y transversal.

*Participantes.* La población de interés fueron estudiantes universitarios que pertenecían al equipo selectivo de balonmano femenino del ITSON en edades entre 16 a 23 años. Se trabajó con 6 voluntarias después de haberlas reunido y explicado en que consistió el estudio.

*Instrumentos.* Para llevar a cabo este trabajo se aplicaron los siguientes instrumentos: a) Recordatorio de 24 horas para actividad física (López, Reyes, Castillo & Dávalos, 2001): se utilizó para determinar el gasto energético y poder hacer una relación entre las calorías gastadas y las consumidas; b) Recordatorio de 24 horas para la ingesta dietaria: se utilizó para determinar el consumo de nutrientes y kilocalorías según lo descrito por Sanjur & Rodríguez, (1997). Una vez obtenido el registro de los alimentos y cantidades consumidas se capturo la información en el programa Nutrisys; c) Mediciones antropométricas: para la determinación de la composición corporal se realizaron mediciones de peso, talla y los pliegues cutáneos bicipital, tricipital, subescapular y suprailico según la metodología descrita por la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK), (Ross & Carter, 2003). Los instrumentos utilizados fueron un estadiómetro y báscula SECA, así como un plicómetro marca slim guide, con apertura de 80mm y precisión de 1mm. Una vez obtenidas las mediciones se aplicaron las ecuaciones de regresión lineal de Durnin & Womersley (1974), para estimar la densidad corporal, luego de ellos se utilizó la ecuación de Siri para la determinación del porcentaje de grasa, (Gibson, 1990).

*Procedimiento.* Se asistió a las instalaciones del polideportivo del ITSON para hacer una invitación al entrenador del equipo selectivo de balonmano para participar en el proyecto. Una vez tenida su aprobación se habló con los atletas para invitarlos a participar. Posteriormente se visitó a los atletas en sus áreas de entrenamiento y previo a este para aplicarles los instrumentos antes mencionados, las evaluaciones se llevaron a cabo en tres sesiones. Después de concluir con la aplicación de instrumentos y obtención de datos estos se capturaron en el programa Excel y se les realizó estadística descriptiva.

### *Resultados y discusión*

La Tabla 1 muestra las características de las sujetas evaluadas, la edad tuvo una media de  $20.80 \pm 1.93$  años y presentaron un peso de  $61.40 \pm 7.03$ kg.

Tabla 1. Características de las sujetas evaluadas.

Variables	Media $\pm$ D. S.*
Edad	20.80 $\pm$ 1.93
Peso (Kg)	61.40 $\pm$ 7.03
Talla (Cm)	160.83 $\pm$ 4.30

\*Desviación estándar

En cuanto al consumo de energía, fue de  $2373 \pm 209.26$ Kcal., mientras que el gasto energético fue del  $3421.65 \pm 103.74$ Kcal., lo que sobrepasa la media de la ingesta energética pudiéndose observar la falta de calorías para cubrir la demanda de energía, de ser esta diferencia una constante en la alimentación de las atletas esto podría comprometer su rendimiento físico así como sus funciones inmunes, endocrinas y musculoesqueléticas (Asociación Americana de Dietética, 2009), sin embargo, cabe mencionar que la media del consumo energético fue determinada con la aplicación de un solo recordatorio de 24 horas. Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación de Ferrera, Schtcherloyna, Abreu y Goncalves (2013), realizada en nadadores adolescentes de Brasil.

En cuanto a la distribución energética para carbohidratos lípidos y proteínas fue del 57, 29 y 14 por ciento respectivamente. La distribución energética obtenida por las atletas de balonmano se encuentra dentro de los rangos recomendados según la ingesta dietaria de referencia (RDI, 2011) y la Asociación Americana de Dietética (ADA, 2009).

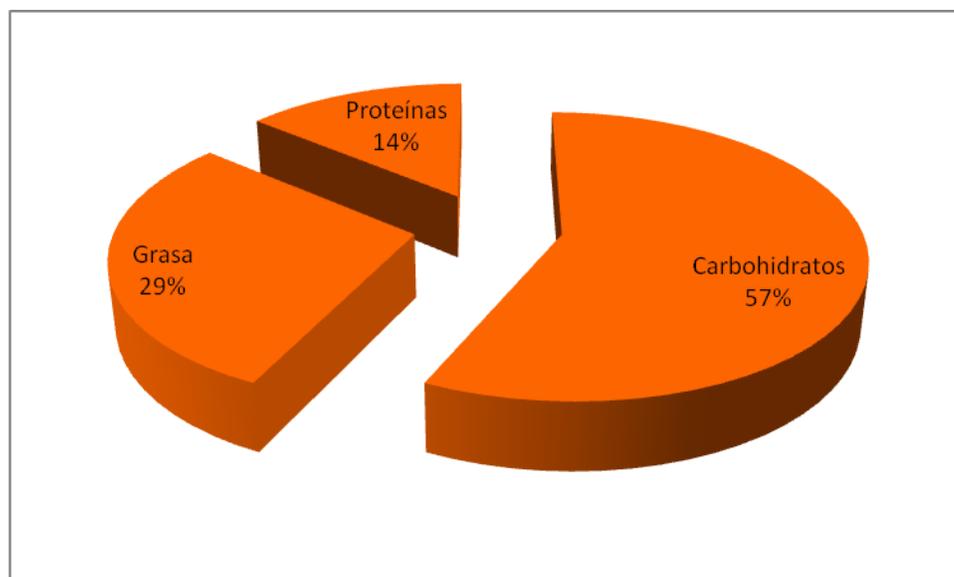


Figura 1. Distribución energética del consumo.

En relación a la ingesta dietaria de las atletas de balonmano, la Tabla 2 muestra la ingesta de 13 nutrientes. En cuanto al consumo promedio de fibra las sujetas estudiadas obtuvieron un consumo bajo ya que según las RDI (2011) el consumo por día debe de ser de 38 g/día, esto podría deberse a que los atletas presentaron un alto consumo en productos refinados. Según Castillo, Delgado & Gutiérrez, (2004) esto puede repercutir en el rendimiento físico ya que la fibra cumple con una depuración necesaria para las personas que practica actividad física.

Tabla 2. Ingesta dietaria de 13 nutrientes equipo selectivo femenino de balonmano del ITSON.

	<b>Media</b>	<b>D. S.*</b>
<b>Fibra(g)</b>	23.14	10.25
<b>Colesterol (mg)</b>	148.90	103.98
<b>AG Mono(g)</b>	20.68	13.03
<b>AG Poli(g)</b>	9.12	8.47
<b>AG satu (g)</b>	26.63	9.82
<b>Vit. A(µg)</b>	1443	392.2
<b>Vit. E(µg)</b>	3.39	1.64
<b>Vit. C(mg)</b>	200.37	165.53
<b>Sodio(mg)</b>	4099.6	2591.1
<b>Potasio(mg)</b>	3155.7	862.34
<b>Calcio(mg)</b>	1669.2	761.28
<b>Hierro(mg)</b>	32.93	39.45
<b>Zinc (mg)</b>	22.72	33.61

\*Desviación estándar.

En cuanto al consumo de grasa, la Academia Nacional de Ciencias(2011) recomienda un consumo de grasas saturadas no mayor a las grasas poli-insaturadas y mono-insaturadas, sin embargo, en la Tabla 2 se puede observar que los sujetos tienen un consumo mayor de grasas saturadas con una media de 26.63g. Este valor mayor podría deberse a que, según el recordatorio de 24 horas, las atletas tienen un consumo importante

de alimentos de origen animal y un alto consumo de alimentos industrializados como frituras y panecillos.

En relación al consumo promedio de vitamina A, este fue de 1443 ug/día sobrepasando las RDI la cual es de 700 ug/día, sin embargo dicho valor no sobrepasa el valor máximo tolerable. Los resultados en relación a vitamina A concuerdan con los obtenidos por Castelo (2008), donde se estudió a un equipo femenino universitario de baloncesto.

En cuanto al consumo de vitamina E por parte de las deportistas se encontró un déficit, según lo indicado por la RDI, con un valor de 3.39 mg/día. Una investigación realizada por Celaya (2010), en deportistas en edades que comprenden de 15 a 19 años de una escuela de fútbol mostró resultados similares a los obtenidos con un consumo deficiente en vitamina E. Alarcón & Pinar (2003), indican que un consumo bajo en esta vitamina puede favorecer a la aparición de radicales libres en la práctica de ejercicio físico lo que puede causar daños musculares.

El promedio en el consumo de vitamina C fue de 200.37 mg/día, valor mayor al recomendado, lo cual puede ser producto del alto consumo de jugos fortificados con esta vitamina, sin embargo, dicha cantidad no sobrepasa el nivel máximo tolerable.

El promedio en el consumo de sodio fue de 4099.60 mg, comparándolo con las RDI (2011) el promedio se encuentra muy por encima de la recomendación. Este alto consumo de sodio podría afectar el rendimiento físico de los atletas por provocar retención de líquidos así como su salud pues el alto consumo de sodio se relaciona también con la hipertensión arterial (Williams, 2004).

En cuanto al potasio las RDI recomiendan un consumo de 4700 mg/día por lo que en los sujetos se estaría con un déficit en cuanto al promedio que fue de 3155.7 mg/día, una deficiencia de potasio podría producir debilidad muscular lo cual afecta al rendimiento deportivo, así mismo, el bajo consumo de potasio se relaciona con la hipertensión arterial.

En relación al calcio se registró un consumo por arriba de lo recomendado por la RDI (2011), con un valor de 1669.2 mg/día, sin embargo, el promedio registrado no sobrepasa nivel máximo tolerable que es de 2500 mg/día. El exceso de calcio puede ocasionar problemas en la absorción de otros minerales, así mismo, puede causar fasciculaciones y debilidad muscular, (Williams, 2004).

En cuanto al consumo de hierro y zinc, ambos minerales estuvieron por encima de las recomendaciones de la RDI (2004) con valores de 32.93 mg/día y 22.72 mg/día, respectivamente, este alto promedio encontrado pudo deberse al exceso de productos de origen animal, así como cereales fortificados que también fueron consumidos por las deportistas.

En cuanto al porcentaje de grasa (Tabla 3) los sujetos evaluados presentaron un promedio de porcentaje de grasa de 26.54, que al compararlo con los parámetros de Wilmore & Costill (2004), se puede establecer que dicho porcentaje está por encima de lo recomendado para el deporte de balonmano ya que este debe estar entre 12 y 18 por ciento. En relación a la ingesta dietaria y la composición corporal cabe mencionar que aunque según los resultados las deportistas están deficientes en energía el porcentaje de grasa corporal está por arriba de lo recomendado por lo que tal vez dicho exceso de grasa corporal pudiera deberse a la falta de una mejor distribución energética en cuanto a carbohidratos, lípidos y proteínas. Por lo que es importante realizar modificaciones a la dieta de las atletas.

Tabla 3. Composición corporal del equipo selectivo femenino de balonmano del ITSON.

	<b>Media</b>	<b>D. S.*</b>
<b>Porcentaje de Grasa</b>	26.54	3.42
<b>Masa Grasa (Kg)</b>	16.38	2.89
<b>Masa Magra (kg)</b>	45.24	5.37

\*Desviación estándar.

### *Conclusiones*

El consumo de energía por parte de las atletas de balonmano del ITSON no es el adecuado debido a que este es menor que su gasto energético. En cuanto a la distribución energética para carbohidratos, lípidos y proteínas esta se encuentra dentro de los rangos recomendados actualmente, sin embargo, se recomienda realizar ciertos ajustes para modificar la composición corporal de las atletas. En cuanto a la ingesta de micronutrientes se encontró un déficit de vitamina E y un alto consumo en vitamina C y A, en cuanto a minerales se tuvo un exceso de calcio, zinc, hierro y sodio y un déficit de potasio.

Con relación a la composición corporal se encontró que no es la apropiada ya que el porcentaje de grasa resultó elevado al recomendado para deportistas de balonmano, por

lo que se recomienda realizar ajustes a la dieta de las deportistas y al programa de entrenamiento.

Se puede concluir de manera general que la ingesta dietaria y la composición corporal de las atletas de balonmano del ITSON no es la adecuada para el deporte que practican.

### Referencias

Asociación Americana de Dietética (2009). *Position of the American Dietetic Association and the Canada Dietetic Association: Nutrition and Athletic Performance*. Journal of the American Dietetic Association, 109(3).

Bean, A. (2006). *La Guía Completa de La Nutrición Del Deportista*. Barcelona: Paidotribo.

Castelo, H. (2008). *Evaluación de la ingesta dietaria, somatotipo y composición corporal en basquetbolistas universitarias*. (Tesis inédita de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México.

Castillo A., Sánchez C., Ramírez J., Zabala M. (2010). *Estudio de los hábitos alimentarios de los ciclistas de la selección española de mountain bike*. Nutrición Hospitalaria, 25(1) 85-90.

Celaya Velazco, R. (2010). *Evaluación de la composición corporal, somatotipo e ingesta dietaria, del equipo de futbol misioneros de cd. Obregón*. (Tesis inédita de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México.

Comisión Nacional de Cultura Física y Deporte, (2008). *Programa Nacional de Cultura Física y Deporte*; Recuperado desde: [www.conade.gob.mx](http://www.conade.gob.mx).

Comité Olímpico Internacional, (2003). *Consensus Conference on Nutrition for Sport*. Journal of Sports Sciences, 22 (1).

Díaz, I. (2006). *Efecto de una orientación nutricional a los equipos de voleibol femenino y varonil del Instituto Tecnológico de Sonora sobre sus conocimientos de nutrición, desarrollado en el periodo mayo- agosto 2006*. (Trabajo de la Especialidad de Nutrición). Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora, México.

- Frideres, J. & Palao, J. (2005). *Estudio descriptivo de los factores de riesgo de los trastornos alimenticios en atletas universitarias de Cross Country*. Efdeportes, 10(89). Recuperado desde: <http://www.efdeportes.com/efd89/cross.htm>
- Ferrera N., Schtcherloyna A., Abreu E., Goncalves B. (2013) *The prevalence of disordered eating and possible health consequences in adolescent female tennis player from Río de Janeiro, Brazil*. Nutrition, (29) 1727-177.
- Gibson, R. (1990). *Principles of nutritional assessment*. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press.
- Grandjean, A. & Ruud, J. (2004). *Nutrición en Atletas Olímpicos*. -SE - PubliCE Standard (<http://www.sobreentrenamiento.com/publica/Articulo.asp?ida=321&tp=s>)
- Kalaman D. & Campbell B. (2004). *Sports Nutrition: What the future may Bring*. Sports Nutrition Review Journal, 1(1) 61-66.
- Miguez, M., González, Carnero, J., Velo C., González, P. & De la Montaña, J. (2003). *Composición corporal y evaluación de la dieta de jóvenes atletas de baloncesto masculino*. Revista internacional de medicina y ciencias de la actividad física y del deporte, 3(10), 75-82.
- Prado, J., García, J., Arteaga, F. (2008). *Determinación del somatotipo y la composición corporal en atletas de la selección de voleibol femenino del estado de Mérida, Venezuela*. Revista digital Efdeportes. 13 (119). Recuperado desde: <http://www.efdeportes.com>
- Ross, W., Carr, R. & Carter J. (1999). *Anthropometry illustrated*. Toronto: Turnpike Electronic Publications Inc. [Monografía en CD-ROM].
- Rowlands D., , Rossler K., Thorp R., Graham D., Timmons B., Stannard S. y Tarnopooloski M., (2008). *Effect of dietary protein content during recovery from high-intensity cycling on subsequent performance and markers of stress, inflammation, and muscle damage in well trained med*. Appl Physiol Nutr Metab, (1)39-51.
- Sanjur, D. & Rodríguez, M. (1997). *Evaluación de la ingesta dietaria. Aspectos selectos en la colección y el análisis de datos*. New York: Universidad de Cornell.

Tedeschi F., B. Bernardot A., R. Steuewald M.(2003) *Acelerando la Recuperación Después del Ejercicio*. Recuperado desde: <http://g-se.com/es/hidratacion-deportiva/articulos/acelerando-la-recuperacion-despues-del-ejercicio-163>

Úbeda N., Palacios N., Antuñano G., Montalvo Z., García J., García A., Iglesias E (2010). *Hábitos alimenticios y composición corporal de deportistas españoles de élite pertenecientes a disciplinas de combate*. *Nutrición Hospitalaria*, 25(3) 412-421.

Valdez, H. (2010). *Evaluación de la ingesta dietaria, composición corporal y somatotipo de voleibolistas universitarias*, (Tesis de Licenciado en Ciencias del Ejercicio Físico). Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México.

Williams, M. (2004). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. España: Paidotribo.

## Capítulo VII. Validación de la Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADS) en adultos mayores sonorenses

Christian Oswaldo Acosta Quiroz<sup>1</sup>, Javier José Vales García<sup>2</sup>, Dulce María de Jesús Serrano Encinas<sup>2</sup>, Sonia Beatriz Echeverría Castro<sup>2</sup> & Raquel García Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Navojoa, <sup>2</sup>Departamento de Psicología

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [christian.acosta@itson.edu.mx](mailto:christian.acosta@itson.edu.mx)

### Resumen

El propósito de este estudio fue evaluar la confiabilidad y validez de la Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADS) en adultos mayores del Municipio de Cajeme, Sonora. Participaron 125 adultos mayores con una edad media de 71.3 años donde el 60.8% son mujeres. Se aplicó en los participantes el BADS en español, la *Escala de Evitación Cognitivo-Conductual* (CBAS) y la *Escala de Depresión Geriátrica*. Los instrumentos de medición fueron aplicados en grupos de reunión de adultos mayores y en casas particulares. Los ítems totales del BADS demostraron una buena consistencia interna ( $\alpha=.83$ ) y en cada sub-escala: “Activación” ( $\alpha=.85$ ), “Evitación/Rumia” ( $\alpha=.86$ ), “Deterioro escuela/trabajo” ( $\alpha=.86$ ) y “Deterioro social” ( $\alpha=.85$ ). En cuanto a validez de criterio, se observaron correlaciones significativas y en la dirección esperada entre los puntajes totales y por sub-escalas del BADS, y los puntajes de evitación en el CBAS, aunque la correlación entre el CBAS y la sub-escala de “Activación” en el BADS es débil. En cuanto a validez discriminativa, se identificaron diferencias significativas en los puntajes totales y por sub-escalas del BADS entre los participantes “deprimidos” y “no deprimidos” en el estudio. Sin embargo, en la sub-escala de “Activación” no se encontraron diferencias significativas. En cuanto a validez factorial, se identificaron los cuatro factores originales que explican el 50.08% de la varianza. El BADS en español es confiable y válido para la población de adultos mayores de Cajeme, aunque es recomendable modificar la sub-escala de “Activación” para una mayor validez de constructo de la escala.

### Introducción

Mientras el envejecimiento de la población representa en muchos sentidos un logro, también plantea profundos retos para las instituciones públicas que han de adaptarse a una estructura de la población siempre en evolución. La población de más de 65 años de edad está creciendo a una tasa de 2% por año aproximadamente, mientras que la población general está creciendo a un ritmo anual de 1.3%. No sólo hay

actualmente más viejos, sino que más personas se harán cada vez más viejas, (Gutiérrez, 2010).

En tal contexto, ayudar a la población envejecida para que a partir de los 65 años de edad permanezca activa y robusta hasta los últimos años de su vida, será el desafío más grande de la salud pública para el siglo XXI, (Gutiérrez-Robledo, 2002). Las enfermedades crónicas y los desórdenes mentales representan el 46% de la carga global de enfermedad en el año 2000 y su incidencia se verá incrementada al 60% para el año 2020: enfermedades coronarias, embolia, depresión y cáncer serán las que más contribuyan a este porcentaje. Los países con un ingreso medio como México, son los que más contribuirán al incremento, (Gutiérrez, 2010).

Existe una amplia gama de factores que contribuye a la salud de los ancianos o que los coloca en situaciones de riesgo. Los principales factores de riesgo son el aislamiento social, la pobreza, una nutrición deficiente, el sedentarismo, el estrés, la ansiedad y la depresión. Encontrar tratamientos psicológicos efectivos para adultos mayores es un proceso en evolución y en particular existe un vacío notable de investigaciones en México que evalúen la eficacia de intervenciones psicológicas para problemáticas como la depresión en adultos mayores.

En los años setenta del siglo pasado, para el tratamiento conductual de la depresión se planteaban estrategias contextuales basadas en los conceptos claves de reforzamiento positivo, negativo y extinción en el conductismo radical. Se describía a la depresión como caracterizada principalmente por pérdida, reducción o niveles bajos de reforzamiento positivo. Las estrategias de tratamiento incluían la programación de actividades de agrado para incrementar los niveles de reforzamiento positivo y el entrenamiento en habilidades sociales para incrementar la capacidad del cliente para obtener y mantener dichos niveles de reforzamiento, (Lewinsohn, 1974; Zeiss, Lewinsohn & Muñoz, 1979). Posteriormente, estas estrategias conductuales pasaron a formar parte de la Terapia Cognitiva de la Depresión (TCD) donde se hace un énfasis en las estrategias cognitivas sustituyendo de ese modo la aproximación contextual de la depresión y el regreso por varios años del modelo clínico tradicional donde se presume

un origen interno de la depresión, en este caso a partir de esquemas mentales y errores en el procesamiento de la información debido a pensamientos distorsionados, (Beck, Rush, Shaw & Emery, 1979/2000).

Sin embargo, el interés en las estrategias puramente conductuales para el tratamiento de la depresión resurgió con un estudio que sugería que el componente conductual de la TCD producía por sí solo, al final del estudio, resultados equivalentes a la aplicación del paquete completo de técnicas de la TCD (Jacobson et al., 1996), y al final de un seguimiento por dos años, (Gortner, Gollan, Dobson & Jacobson, 1998), desarrollándose un tratamiento completo definido como Activación Conductual (AC) con base en una filosofía contextual y un análisis funcional de la conducta, (Jacobson, Martell & Dimidjian, 2001; Martell, Addis & Jacobson, 2001). Esta conceptualización de la AC utiliza también las técnicas iniciales de programación de actividades de agrado y de entrenamiento en habilidades sociales, pero con diferencias adicionales importantes. En particular, el terapeuta brinda especial atención al rol de las conductas de evitación, escape y control de estímulos aversivos en la depresión. Los terapeutas en la AC utilizan estrategias de análisis funcional para evaluar las conductas de evitación que se supone producen bajos niveles de reforzamiento positivo. Mediante la AC se busca la extinción de estas conductas de evitación y se activan y diseñan conductas alternativas que produzcan reforzamientos positivos, (Kanter, Callaghan, Landes, Busch & Brown, 2004).

En este contexto de la AC, dada la necesidad de evaluar los patrones de activación y evitación que experimentan los clientes a quienes se les practica la activación conductual como estrategia de tratamiento para el manejo de la depresión, este estudio tiene como propósito evaluar la confiabilidad y validez de la Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADDS, por sus siglas en inglés) en adultos mayores del Municipio de Cajeme, Sonora (México).

### *Fundamentación teórica*

Las variables clave que se miden en los estudios de AC son el cómo y cuándo los clientes evitan menos y se activan más durante el tratamiento. Específicamente la AC supone que muchas de las conductas de las personas deprimidas funcionan como conductas de evitación de afecto deprimido o aversivo, y las estrategias de la AC atacan específicamente estas conductas de evitación (Kanter, Mulick, Busch, Berlin y Martell, 2007). A partir de ahí nace el interés de crear instrumentos de medición de los supuestos cambios en la conducta del cliente que deberían ocurrir durante el tratamiento de la AC para la depresión. En un principio se consideraron instrumentos como la Escala Cognitiva-Conductual de Evitación (CBAS; Ottenbreit & Dobson, 2004), pero los constructos medidos por el CBAS se traslapan parcialmente con los constructos de interés en la AC. En particular, el CBAS mide la evitación pero fue diseñado para usarse en estudios sobre la psicopatología de la depresión, más que en estudios de tratamiento (Kanter et al., 2007). Sin embargo, dado el interés en crear y adaptar instrumentos de medición de las conductas de evitación y activación en deprimidos durante el tratamiento de la AC, el CBAS se convierte en un instrumento clave para ello.

En este contexto, la evaluación de la evitación y activación es de total importancia en la terapia de AC para la depresión. Sin embargo, esto requiere un instrumento que no sólo determine estas dos dimensiones de la situación depresiva, sino también sirva como guía y mediciones en el curso de la terapia. Al respecto, una investigación desarrollada por Kanter et al. (2007) tuvo como propósito crear una Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADS, por sus siglas en inglés) para investigadores que desean estudiar los procesos de cambio en la AC o para clínicos que desean valorar el progreso del cliente a través del tratamiento de AC. Se llevó a cabo un primer estudio donde se utilizó una muestra no clínica de universitarios en su mayoría estadounidenses (n=391) con una edad media de 20.63 años donde el 77.5% eran del sexo femenino, para evaluar las propiedades psicométricas de un conjunto inicial de 55 ítems del BADS en diversas áreas. Se llevó a cabo un análisis factorial exploratorio para

determinar la estructura factorial subyacente de los ítems y reducir su número para evaluaciones posteriores.

Se llevó a cabo el análisis factorial donde se excluyeron 22 ítems quedando 33 ítems en cinco factores. El primer factor fue nombrado “Activación” que representa activación enfocada y dirigida a objetivos y participación en actividades programadas. El segundo factor fue nombrado “Evitación/Rumia” que representa evitación de estados aversivos negativos e involucración en rumia más que en solución de problemas. El tercer factor fue nombrado “Deterioro en la escuela/trabajo” que representa las consecuencias de la inactividad y pasividad sobre las responsabilidades en la escuela y/o trabajo. El cuarto factor fue nombrado “Deterioro social” que representa las consecuencias sociales similares y el aislamiento social. El quinto factor fue eliminado debido a la heterogeneidad de los ítems que contenía, lo que hacía difícil su clasificación. Quedaron 29 ítems en cuatro factores que explican el 43.79% de la varianza de las variables medidas.

Posteriormente se llevó a cabo un segundo estudio cuyo propósito fue realizar un Análisis Factorial Confirmatorio en la versión de 29 reactivos del BADS para replicar la estructura factorial original, además de la técnica test-retest para evaluar la estabilidad temporal del BADS y hacer algunas predicciones de validez de constructo mediante la aplicación a los participantes de mediciones de depresión, pensamientos automáticos, conductas de aceptación, conductas de evitación y de estilos de respuesta. En este estudio participaron 319 universitarios en su mayoría estadounidenses con una edad media de 20.53 años donde el 78.4% de la muestra eran mujeres. A partir de la evaluación de la estructura factorial de segundo orden del BADS mediante un Análisis Factorial Confirmatorio, se eliminaron cuatro ítems quedando una escala final de 25 ítems. Esta escala tuvo un  $\alpha = .87$ . La consistencia interna de las sub-escalas fueron: “Activación” (siete ítems,  $\alpha = .85$ ), “Evitación/Rumia” (ocho ítems,  $\alpha = .86$ ), “Deterioro en la escuela/trabajo” (cinco ítems,  $\alpha = .76$ ) y “Deterioro social” (cinco ítems,  $\alpha = .82$ ). La confiabilidad test-retest evaluada con el coeficiente de correlación de Pearson, se estableció a través de 212 participantes que regresaron para la segunda administración,

una semana después de la primera ( $r = .74$ ). Las sub-escalas del BADS también mostraron suficiente confiabilidad test-retest (“Activación”  $r = .60$ , “Evitación/Rumia”  $r = .76$ , “Deterioro en la escuela/trabajo”  $r = .64$ , y “Deterioro social”  $r = .64$ ). La validez de constructo se estableció a través de correlaciones significativas en las direcciones esperadas con depresión ( $r = -.67$ ), pensamientos automáticos ( $r = -.62$ ), conductas de aceptación ( $r = -.51$ ), conductas de evitación ( $r = .37$ ) y estilos de respuesta ( $r = -.56$ ).

Sin embargo, era necesaria la replicación de estos resultados con diferentes muestras, particularmente clínicas y diversas socioculturalmente. Las propiedades psicométricas y estructura factorial obtenidas en el estudio anterior, no podían generalizarse a otras poblaciones. Dicha tarea era crítica antes de que el BADS fuera utilizado por investigadores y clínicos para medir procesos de cambio durante el tratamiento de la AC. Debido a que la estructura factorial del BADS no fue desarrollada o confirmada en una muestra con síntomas depresivos elevados, un siguiente paso fue evaluar las propiedades psicométricas, validez de constructo y estructura factorial del BADS con dicha población. Para ello, en un estudio realizado por Kanter, Rusch, Busch y Sedivy (2009), se aplicó el BADS a una muestra con síntomas depresivos elevados y se incluyeron diferentes mediciones de conductas de evitación, apoyo social y depresión para más evaluaciones de la validez de constructo.

En este estudio participaron 193 personas de una comunidad estadounidense con una edad media de 39.02 años, donde el 70.7% eran mujeres. Los participantes fueron reclutados mediante publicidad que solicitaba personas que se sintieran “deprimidas” y a quienes se les otorgaba un estímulo económico para responder a los cuestionarios. La muestra presentó un nivel moderado y clínicamente significativo de síntomas depresivos. La escala total del BADS y sus sub-escalas mostraron buena consistencia interna: la escala total  $\alpha = .92$ , “Activación”  $\alpha = .84$ , “Evitación/Rumia”  $\alpha = .82$ , “Deterioro en la escuela/trabajo”  $\alpha = .75$  y “Deterioro social”  $\alpha = .85$ . En cuanto a la validez de constructo y con respecto a la evitación, el puntaje total del BADS y todas las sub-escalas, con excepción de la sub-escala de “Activación”, correlacionaron con conductas de evitación en las direcciones esperadas. A medida que incrementaban la

“Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social” en el BADS, la evitación también incrementaba. Con respecto al apoyo social, el puntaje total del BADS y de sus sub-escalas correlacionó significativamente con percepciones de apoyo social. En general, a menor satisfacción con el apoyo social, hay menos activación, más evitación y más deterioro social. Con respecto a la depresión, el puntaje total del BADS y todas las sub-escalas, con excepción de la sub-escala de “Activación”, correlacionaron significativamente con depresión.

A partir de la sugerencia de Kanter et al. (2007), de replicar los resultados de las propiedades de medición del BADS con diferentes muestras, particularmente clínicas y diversas socioculturalmente, Barraca, Pérez-Álvarez y Lozano (2011) llevaron a cabo la adaptación del BADS en una muestra española. Como la estructura factorial del BADS mostró un buen ajuste a los datos de muestras que combinan participantes clínicos y no clínicos, en la adaptación del BADS al español se utilizó una muestra heterogénea para comparar los puntajes de diferentes grupos en términos de diversos diagnósticos. Este estudio fue el primero en informar datos normativos del BADS con trastornos psicológicos diferentes a la depresión. En ese sentido, se esperaba que el BADS discriminara apropiadamente síntomas depresivos de otros diagnósticos. La muestra consistió en 263 participantes de diferentes lugares de España. Los participantes no clínicos fueron estudiantes y personal universitario (52.9%). Los participantes clínicos (47.1%) fueron personas bajo tratamiento por algún trastorno psicológico, la mayoría diagnosticados con trastorno depresivo mayor (TDM) (50.9%). La edad media de la muestra no clínica fue de 24.05 años, donde el 77% eran mujeres. En la muestra clínica la edad media fue de 38.5 años, donde el 64.5% eran mujeres.

En este estudio el BADS se tradujo al español y se retradujo al inglés. En conjunto con el BADS en español se hicieron mediciones de depresión, conductas de evitación, pensamientos automáticos, creencias meta-cognitivas, ansiedad y de recompensas ambientales. La consistencia interna del total de los ítems del BADS en español fue de  $\alpha = .90$ . En cada sub-escala, los valores son aceptables: “Activación” (siete ítems,  $\alpha = .81$ ), “Evitación/Rumia (ocho ítems,  $\alpha = .82$ ), “Deterioro en la

escuela/trabajo” (cinco ítems,  $\alpha = .76$ ) y “Deterioro social” (cinco ítems,  $\alpha = .88$ ). En cuanto a validez de criterio y en un intento por replicar las correlaciones encontradas por Kanter et al. (2007) se observaron altas y significativas correlaciones en la dirección esperada con las medidas de depresión, evitación, pensamientos automáticos, creencias meta-cognitivas, ansiedad y recompensa ambiental, donde se obtuvieron correlaciones ligeramente más altas que en el estudio de Kanter y sus colaboradores. Entre más altos los puntajes de depresión, evitación, pensamientos automáticos, creencias meta-cognitivas y ansiedad, menos puntajes totales y de “Activación” en el BADS en español, y más puntajes altos de “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social”. Con respecto a la recompensa ambiental, a medida que los puntajes de ésta incrementan, los puntajes totales y de “Activación” del BADS incrementan, y los puntajes de “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social” se reducen.

En cuanto a validez discriminante en el BADS en español, se hicieron dos tipos de análisis estadísticos. Una prueba *t* de Student para comparar los participantes clínicos y los no clínicos, y un análisis multivariado de varianza (MANOVA) para comparar los diferentes diagnósticos en la muestra: TDM, ansiedad y otros (trastornos de personalidad, juego patológico, psicosis, etcétera). Con respecto a la prueba *t* de Student, los grupos clínico ( $n = 124$ ) y no clínico ( $n = 139$ ) mostraron diferencias significativas en los puntajes totales del BADS en español,  $t(261) = 6.36$ ;  $p < .001$ . Esto significa que hay razones para creer en la capacidad del BADS en español para discriminar entre una muestra en general y un grupo bajo terapia clínica. Específicamente se encontraron diferencias en la sub-escala “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social”, más no en la sub-escala de “Activación”. En el caso del análisis con MANOVA, se analizaron diferencias en la escala total y sub-escalas del BADS en español, con respecto a los cuatro grupos en la muestra: participantes no clínicos ( $n=139$ ), pacientes con TDM ( $n=63$ ), pacientes con ansiedad ( $n=14$ ) y pacientes con otros diagnósticos ( $n=24$ ). Los resultados revelan diferencias significativas en los puntajes de “Evitación/Rumia” entre el grupo no clínico y los grupos depresivo y

ansioso. En los puntajes de “Deterioro social” entre el grupo no clínico y los grupos depresivo, ansioso y con otros diagnósticos. Y en los puntajes totales del BADS en español entre el grupo no clínico y el grupo depresivo. Finalmente, la validez factorial del BADS en español muestra un aceptable ajuste replicando la estructura original de cuatro factores encontrada por Kanter y sus colaboradores.

### *Metodología*

*Participantes.* En este estudio participaron 125 adultos mayores del Municipio de Cajeme en el estado de Sonora (México), con una media de edad de 71.3 años ( $DE=8.76$ ), donde el 60.8% eran mujeres. El diseño de investigación fue no experimental, seccional, explicativo.

*Instrumentos.* Se aplicó en los participantes La *Escala de Activación Conductual para la Depresión* (BADS; Kanter et al., 2007), que consiste en 25 ítems y mide cuatro dimensiones: “Activación”, “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro Social”. La versión en español del BADS fue adaptada por Barraca, Pérez-Álvarez y Lozano (2011). La consistencia interna del total de los ítems del BADS en español es de  $\alpha = .90$ . En cada sub-escala, los valores son: “Activación” (siete ítems,  $\alpha = .81$ ), “Evitación/Rumia (ocho ítems,  $\alpha = .82$ ), “Deterioro en la escuela/trabajo” (cinco ítems,  $\alpha = .76$ ) y “Deterioro social” (cinco ítems,  $\alpha = .88$ ). Los puntajes en cada dimensión se obtienen por la sumatoria de los reactivos que la componen. Para obtener un puntaje total de la escala, se codifican inversamente los ítems de la dimensión de “Activación” y posteriormente se suma la totalidad de los ítems en la escala.

De igual manera se aplicó la *Escala de Evitación Cognitivo-Conductual* (CBAS; Ottenbreit & Dobson, 2004), que consiste en 31 reactivos y mide estrategias de evitación para lidiar con problemas en cuatro dimensiones: “Conductual/Social”, “Conductual/No social”, “Cognitiva/Social” y “Cognitiva/No social”. La consistencia interna del CBAS en población mexicana para el total de ítems  $\alpha = .89$ , para la escala “Conductual/Social”  $\alpha = .87$ , “Cognitiva/No social”  $\alpha = .64$ , “Cognitiva/Social”  $\alpha = .68$  y “Conductual/No Social”  $\alpha = .63$ . Una calificación alta indica más evitación (Hernández-Guzmán et al.,

2009). En este estudio se plantea la hipótesis de que el CBAS se correlaciona positivamente con el puntaje de las sub-escalas de “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo”, “Deterioro social”, y que se correlaciona negativamente con la dimensión de “Activación”.

Y por último, se aplicó la *Escala de Depresión Geriátrica* (EDG-15; Sheik & Yesavage, 1986) con 15 reactivos que evalúan la presencia de síntomas de depresión en adultos mayores. La consistencia interna del EDG-15 en población de adultos mayores mexicanos (en el sur del estado de Sonora), es de .84 (Acosta & García, 2007). Un puntaje mayor a cinco puntos en la EDG-15 parece indicar depresión para lo cual se considera la realización de una evaluación integral de seguimiento, pero un puntaje igual o mayor a 10 es casi siempre un indicador de depresión. En este estudio se plantea la hipótesis de que el grupo de participantes con un puntaje  $\geq 10$  en la EDG-15, difiere significativamente en sus puntajes totales del BADS y de sus respectivas sub-escalas, con respecto al grupo de participantes con menos de 10 puntos en dicha escala.

*Procedimiento.* Los instrumentos de medición fueron aplicados en grupos de reunión de adultos mayores y en casas particulares, por estudiantes universitarios quienes después de obtener el consentimiento informado de los participantes y solicitar el llenado de una hoja de datos sociodemográficos, explicaron los contenidos de los instrumentos de medición los cuales se aplicaron individualmente en cada participante, donde algunas personas fueron asistidos en el llenado de los instrumentos por diversas razones.

### *Resultados y discusión*

La consistencia interna de los ítems totales del BADS y de cada sub-escala, se evaluó utilizando alfa de Cronbach. Los ítems totales del BADS demostraron una buena consistencia interna ( $\alpha=.83$ ), aunque cabe mencionar que los ítems de la sub-escala de “Activación” muestran valores de correlación elemento-total corregida cercanos al cero y algunos son negativos, aun cuando la codificación de estos ítems fue inversa a la codificación de los ítems de las otras tres sub-escalas. La consistencia interna para cada

sub-escala también fue aceptable: “Activación” (siete ítems,  $\alpha=.85$ ), “Evitación/Rumia” (ocho ítems,  $\alpha=.86$ ), “Deterioro escuela/trabajo” (cinco ítems,  $\alpha=.86$ ) y “Deterioro social” (cinco ítems,  $\alpha=.85$ ).

Mediante el coeficiente de correlación Rho de Spearman se observaron correlaciones significativas y en la dirección esperada entre los puntajes totales y por sub-escalas del BADS, y los puntajes totales de evitación en el CBAS. Entre más altos los puntajes de evitación en el CBAS, más altos los puntajes en las sub-escalas de “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social”, y menos puntajes en la sub-escala de “Activación” del BADS, aunque cabe mencionar que el coeficiente de correlación entre los puntajes totales de evitación del CBAS y de la sub-escala de “Activación” en el BADS es débil.

Se utilizó la prueba *t* de Student para comparar los puntajes totales y por sub-escalas del BADS, entre el grupo de participantes con presencia significativa de síntomas de depresión (diez puntos o más en la EGD-15) y el grupo de participantes con menos de diez puntos en la EDG-15. El grupo de “No deprimidos” ( $n=108$ ) y el grupo de “deprimidos” ( $n=17$ ) mostraron diferencias significativas en los puntajes totales del BADS,  $t(123) = -5.301$ ;  $p < .001$ . Con esto hay razón para creer en la capacidad del BADS para discriminar entre una muestra general y una muestra con presencia significativa de síntomas de depresión. Específicamente se encontraron diferencias significativas en la sub-escala de “Evitación/Rumia”,  $t(123) = -3.741$ ;  $p < .001$ , la sub-escala de “Deterioro en la escuela/trabajo”,  $t(123) = -4.582$ ;  $p < .001$ , y la sub-escala de “Deterioro social”,  $t(123) = -3.529$ ;  $p < .001$ . En la sub-escala de “Activación” no se encontraron diferencias significativas,  $t(123) = .477$ ;  $p > .05$ .

A través de rotación ortogonal para minimizar tanto el número de factores necesarios para explicar la estructura factorial del BADS, como el número de ítems que saturan alto en cada factor, se extraen y retienen seis factores que explican el 70.6% de la varianza. En la Tabla 3 se muestra que el factor 1 está conformado por los ítems 1, 2, 6, 21 y 22 que corresponden a la sub-escala de “Deterioro en la escuela/trabajo”, mientras que el factor 2 lo conforman los ítems 3, 4, 5, 7, 11, 12 y 23 que corresponden

a la sub-escala de “Activación”, así mismo el factor 3 conformado por los ítems 16, 17, 18, 19 y 20 que corresponden a la sub-escala de “Deterioro social” y el factor 4 que lo conforman los ítems 8, 9, 10 y 13 los cuales forman parte de la sub-escala de “Evitación/Rumia” ya que sus ítems restantes 24-25 y 14-15 forman el factor 5 y 6 respectivamente. Sin embargo, estos dos últimos factores quedan conformados por dos ítems respectivamente, por lo que se eliminan del análisis quedando cuatro factores que explican el 50.08% de la varianza.

El propósito de este estudio fue evaluar la confiabilidad y validez de la Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADS) en adultos mayores mexicanos del sur del estado de Sonora, un instrumento que mide patrones de activación y evitación en diferentes situaciones y contextos. En general, el BADS en este estudio reúne las propiedades de medición de confiabilidad y muestra evidencias de su validez. Todas las sub-escalas mostraron alta consistencia interna y los resultados evidencian la validez factorial del BADS en la población de adultos mayores del sur de Sonora, replicando la estructura de cuatro factores propuesta inicialmente por Kanter et al. (2007), aunque la investigación futura del BADS con adultos mayores debe utilizar muestras más grandes, clínicas y no clínicas separadamente.

La validez del BADS en este estudio se mostró también con la correlación alta y significativa de sus sub-escalas con el CBAS, aunque cabe subrayar así como se mencionó en una investigación previa (Kanter et al., 2009) y en este estudio, que la sub-escala de “Activación” mostró una correlación pobre con medidas de depresión y de evitación, lo que refleja la debilidad de esta sub-escala en términos de validez de constructo. De igual manera, ésta sub-escala de “Activación” no discrimina entre una muestra general y una clínica (Barraca et al., 2011) y entre participantes con presencia significativa de síntomas de depresión y sin la presencia de estos, como lo fue en el caso de este estudio. Quizás sea conveniente incluir en esta sub-escala ítems que hagan referencia a todas aquellas formas en que la persona deprimida puede buscar y encontrar reforzamiento positivo en sus actividades cotidianas, enfatizando que dichas actividades

puedan programarse con objetivos definidos y que impliquen patrones de activación en vez de evitación.

Las altas correlaciones entre las sub-escalas de “Evitación/Rumia”, “Deterioro en la escuela/trabajo” y “Deterioro social” del BADS con los puntajes totales del CBAS, revelan que las conductas de rumia son muy importantes en el mantenimiento de la depresión y que el deterioro social, en la escuela y/o trabajo son de central importancia ya que sustentan unos de los aspectos principales de la terapia de AC, que es el funcionamiento del individuo en su contexto.

### *Conclusiones*

La Escala de Activación Conductual para la Depresión (BADS) en español, es confiable y válida para la población de adultos mayores del sur de Sonora, en el Municipio de Cajeme, aunque es recomendable modificar la sub-escala de “Activación” para una mayor validez de constructo de la escala y para su pertinencia de acuerdo a los criterios de funcionamiento de la terapia de activación conductual.

### *Referencias*

- Acosta, Ch. & García, R. (2007). *Ansiedad y depresión en adultos mayores*. Psicología y Salud, 17(2), 291-300.
- Barraca, J., Pérez-Álvarez, M. & Lozano, J. (2011). *Avoidance and Activation as Keys to Depression: Adaptation of the Behavioral Activation for Depression Scale in a Spanish Sample*. The Spanish Journal of Psychology, 14(2), 998-1009.
- Beck, A., Rush, A., Shaw, B. & Emery, G (1979/2000). *Terapia cognitiva de la depresión*. Bilbao: Desclée de Brouwer.
- Gortner, E., Gollan, J., Dobson, K. & Jacobson, N. (1998). *Cognitive-behavioral treatment for depression: Relapse prevention*. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 66, 377-384.
- Gutiérrez, L.M. (2010). *México y la revolución de la longevidad. En Envejecimiento humano: una visión transdisciplinaria*. México: Instituto de Geriátría.
- Gutiérrez-Robledo, L.M. (2002). *Looking at the future of geriatric care in developing countries*. Journals of Gerontology, Medical Series, 57(3), 1-6.

- Hernández-Guzmán, L., Dobson, K., Caso-Niebla, J., González-Montesinos, M., Epp, A., Arratíbel-Siles, M. & Wierzbicka-Szymczack, E. (2009). *La versión en español de la Escala Cognitiva-Conductual de Evitación (CBAS)*. Revista Latinoamericana de Psicología, 41(1), 99-108.
- Jacobson, N., Dobson, K., Truax, P., Addis, M., Koerner, K. & Gollan, J. (1996). *A component analysis of cognitive-behavioral treatment for depression*. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 64(2), 295-304.
- Jacobson, N., Martell, C. & Dimidjian, S. (2001). *Behavioral activation treatment for depression: Returning to contextual roots*. Clinical Psychology: Science and Practice, 8, 255-270.
- Kanter, J., Callaghan, G., Landes, S., Busch, A. & Brown, K. (2004). *Behavior analytic conceptualization and treatment of depression: Traditional models and recent advances*. The Behavior Analyst Today, 5, 255-274.
- Kanter, J., Mulick, P., Busch, A., Berlin, K. & Martell, C. (2007). *The Behavioral Activation for Depression Scale (BADs): Psychometric properties and factor structure*. Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment, 29, 191-202.
- Kanter, J., Rusch, L., Busch, A. & Sedivy, S. (2009). *Validation of the Behavioral Activation for Depression Scale (BADs) in a Community Sample with Elevated Depressive Symptoms*. Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment, 31, 36-42.
- Lewinsohn, P. (1974). *A behavioural approach to depression*. En R. Friedman & M. Katz (Eds), *The psychology of depression: Contemporary theory and research* (pp. 157-178). Washington, DC: Winston-Wiley.
- Martell, C., Addis, M. & Jacobson, N. (2001). *Depression in context: Strategies for guided action*. New York: Norton.
- Ottenbreit, N. & Dobson, K. (2004). *Avoidance and depression: The construction of the Cognitive-Behavioral Avoidance Scale*, Behaviour Research and Therapy, 42, 293-313.
- Sheikh, J. & Yesavage, J. (1986). *Geriatric Depression Scale (GDS): Recent evidence and development of a shorter version*. Clinical Gerontology, 5, 165-173.
- Zeiss, A., Lewinsohn, P. & Muñoz, R. (1979). *Nonspecific improvement effects in depression using interpersonal skills training, pleasant activity schedules, or cognitive training*. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 47, 427-439.

**Capítulo VIII. Percepción de los estudiantes sobre la evaluación del desempeño docente, aplicada en línea, en una institución de educación superior del sur de Sonora**

María Luisa Madueño Serrano<sup>1</sup>, Lorena Márquez Ibarra<sup>1</sup>, Reyna Isabel Pizá Gutiérrez<sup>2</sup>,  
Lorena Calderón Soto<sup>1</sup> y Marisela González Román<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Educación

<sup>2</sup>Coordinación de Desarrollo Académico

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [maria.madueno@itson.edu.mx](mailto:maria.madueno@itson.edu.mx)

*Resumen*

El objetivo de la presente investigación es describir las percepciones de los estudiantes acerca de la evaluación docente implementada en los programas de licenciatura en una universidad del sur de Sonora. Con ello se busca comprender su postura respecto a dicho proceso e identificar las razones de su bajo porcentaje de respuesta para el instrumento. El trabajo de campo se desarrolló mediante la técnica de grupo focal en la que participaron alumnos de diferentes programas educativos y semestres intermedios. Se obtuvo información a partir de cuatro ejes temáticos: opinión general sobre la evaluación docente, motivos por los cuales los alumnos no responden los cuestionarios, sugerencias y aspectos que debe cumplir el “buen maestro”. Los resultados se concentraron por categorías comunes de respuesta. Entre las conclusiones se encontró que: 1) los estudiantes manifiestan una actitud de aceptación hacia el proceso de evaluación, siempre y cuando los resultados impacten en la toma de decisiones, respeto a la aplicación en línea del instrumento se presenta una postura a favor; 2) se señaló que entre las principales causas por las que no responden el instrumento se encuentran la falta de sensibilización permanente por parte de la institución a fin de que el alumno no olvide responder el cuestionario y porque las autoridades institucionales no hacen uso de la información que ellos proporcionan; 3) los argumentos anteriores constituyen sugerencias de mejora al proceso de evaluación y 4) además, el grupo focal refiere que hay otros aspectos a considerar en el cuestionario de opinión estudiantil actual.

*Introducción*

Los esfuerzos por la evaluación del desempeño docente representan un interés compartido por parte de las autoridades de los diferentes niveles educativos, lo cual incluye a las Instituciones de Educación Superior (IES). La relevancia que se otorga a estas iniciativas se fundamenta desde diferentes intenciones, por ejemplo, la Asociación

Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) reporta que en algunas IES la evaluación es una práctica aceptada como un requisito administrativo y/o bien como un mecanismo útil para que sus docentes accedan a compensaciones salariales derivadas de algún programa especial (Rueda, Luna & Torquemada 2003; Rueda 2008). En estos casos, se puede decir que la intencionalidad desde la que se impulsa su implementación obedece en gran medida a intereses relacionados con el control o rendición de cuentas a las que deben responder las IES, así como a intereses de tipo económico en los que el profesorado puede verse beneficiado. El problema ante esta postura es que se deje en segundo plano la razón de ser fundamental de la evaluación que es la toma de decisiones y/o bien que solamente se utilicen sus resultados para efectos administrativos sin que ello impacte en alternativas de apoyo al profesorado, no solo de naturaleza económica.

Cabe hacer mención que en el segundo semestre de 2005 en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) se modifica la forma en que se aplican los cuestionarios de opinión estudiantil, se pasó de la opción presencial a la modalidad de respuesta “en línea”, al mismo tiempo se sustituyó el instrumento que se venía empleando desde 1995. Dicha versión del instrumento representó una alternativa de 16 ítems de respuesta múltiple y un cuestionamiento dicotómico con posibilidad de respuesta abierta como valoración general del desempeño del docente. Es importante señalar que el propósito del instrumento es hacia el desempeño del docente en el proceso de enseñanza aprendizaje y las actitudes implícitas en dicha actividad, las categorías corresponden a mediación pedagógica, estrategias y actitudes (González, Del Hierro, Madueño & Cuevas, 2008).

En continuidad con lo anterior, es preciso mencionar que a partir de la implementación en línea, los responsables del área del proceso de evaluación se hicieron cargo de una estrategia de difusión del nuevo proceso, misma que contempló una etapa de sensibilización para poder contar con el mayor número de respuestas y para propiciar que el esfuerzo por obtener la opinión del alumno no representara problemas para los docentes y la institución. Un año después se hizo un estudio para identificar las

percepciones de los estudiantes respecto a la nueva alternativa de evaluación obteniendo como resultado que el 97% de los estudiantes tiene conocimiento de la aplicación en línea, el 90% señala responder objetivamente, 88% opina que el instrumento está bien elaborado y el 70% confía en la confidencialidad de sus respuestas; por otra parte, el 50% de los sujetos del estudio considera como desventaja los problemas para acceder a la plataforma institucional SAETI al responder el cuestionario de opinión estudiantil vigente (González, Del Hierro, Madueño & Cuevas, 2007).

Por otra parte, de acuerdo a los datos proporcionados por la Institución en la que se desarrolló la investigación, durante el periodo de 2005 a 2008 el porcentaje de respuesta de los estudiantes fue de 32% como mínimo y un 62% como máximo (González, Del Hierro, Orduño & Cabrera, 2009), dichos porcentajes de participación por parte del estudiante no son los deseables. Esta situación también puede consultarse en el informe de resultados individuales de la evaluación a los que tienen acceso los profesores de la Institución, en los reportes el porcentaje de respuesta por grupo es bajo en su gran mayoría; es decir, apenas supera el mínimo requerido y en algunos casos no se origina el informe de evaluación al no generarse el número de participaciones necesarias, es decir de 30% más uno de los inscritos al grupo. Con base en lo anterior y debido a que se siguen presentando porcentajes de respuesta bajos, se advierte que esta situación representa una problemática vigente, misma que conduce a la necesidad de analizar las causas, que desde la percepción del estudiante, originan su poco interés por responder el instrumento para evaluar el desempeño del profesor ITSON.

Hay diferentes ángulos desde los que se puede estudiar el proceso de evaluación docente, pero cuando se identifica que los esfuerzos de las instituciones tienden a implementarla y que la respuesta por parte de los proveedores de información no es la deseable, conviene identificar qué está pasando. En este sentido, es necesario hacer esfuerzos para comprender la postura del estudiante con relación a la evaluación del desempeño docente, esto con la finalidad de identificar las causas por las que no responden los cuestionarios, además de conocer su opinión y sugerencias en relación con dicho proceso.

En síntesis, se presenta la necesidad de hacer esfuerzos para realizar estudios sobre la percepción que tiene el estudiante sobre el proceso de evaluación con la intención de comprender aspectos relacionados con su postura respecto a: el proceso de evaluación en general, la naturaleza del instrumento y su modalidad de aplicación, así como los motivos por los que no participa para responder los cuestionarios. Este tipo de estudios favorecerá futuros análisis y toma de decisiones, desde la perspectiva del estudiante, para la mejora del proceso de evaluación del profesorado.

En este sentido, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las percepciones de los estudiantes acerca de la evaluación docente implementada en los programas de licenciatura en una IES del sur de Sonora? Para atender a esta pregunta, el presente estudio tuvo como objetivo describir las percepciones de los estudiantes acerca de la evaluación docente implementada en los programas de licenciatura en una IES del sur de Sonora.

En el Instituto Tecnológico de Sonora existe la preocupación permanente por el profesor y su práctica. Por ello se considera fundamental acceder a iniciativas relacionadas con la evaluación del desempeño docente ya que sus resultados deben aportar indicios para la toma de decisiones en torno a la mejora del quehacer docente. La reflexión del presente estudio permitirá a los administradores de esta IES tomar decisiones pertinentes con respecto a la orientación y mejora de esta acción.

Este tipo de estudios coadyuva en la elaboración de propuestas y estrategias para aumentar la participación del estudiante como evaluadores ya que actualmente hay docentes que no pueden tener acceso a su realimentación porque su curso no es evaluado por el mínimo de alumnos requeridos para que el sistema le arroje resultados.

### *Fundamentación teórica*

La evaluación del desempeño de los profesores es un proceso sistemático que tiene la finalidad de estimular o juzgar el valor, la excelencia y las cualidades del profesorado para favorecer la toma de decisiones (Colina, Medina, Parra, Cendrés & Montoya, 2008), de acuerdo con estos autores dicha acción no es una tarea fácil por los

múltiples factores que se ponen en juego al llevarla a cabo. Esta evaluación requiere tener una visión clara tanto del proceso a seguir como de la necesidad a la que responderá en la institución que la promueve. Cabe señalar que en acuerdo con Rueda (2009), los procesos de emisión de juicios a los que refiere el concepto de evaluación docente deben orientarse a la toma de decisiones en torno a la mejora.

A partir de los resultados de estudios antecedentes en el área de evaluación de la docencia, Vásquez y Gabalán (2006) enfatizan la importancia de considerar la evaluación del desempeño como un proceso permanente enmarcado dentro de una concepción de calidad de la educación. Además, estos autores sugieren que dicho proceso debe ser enfocado hacia el perfeccionamiento de la docencia por parte de las instituciones educativas, de igual forma señalan que se debe considerar la perspectiva de diversas fuentes de información como son los alumnos, pares o colegas, jefes inmediatos y al mismo docente. En este sentido, toda evaluación debe conducir a la identificación de aspectos de mejora en torno a la labor del profesor e incluir la opinión desde diversos actores (Rueda, 2008; Colina, Medina, Parra, Cendrós & Montoya, 2008; Rueda & Luna, 2011), sin embargo Rueda y Luna (2011) señalan que a partir de las conclusiones de investigaciones en el campo de la evaluación docente se observa que sus resultados son empleados para fines económicos o compensatorios.

En estudios previos a esta investigación, se refiere que quienes están al frente de los procesos o decisiones relacionados con la evaluación docente en las IES reconocen que la emisión de opiniones desde una única fuente es limitada; sin embargo, pese a que se pueden encontrar reflexiones en torno a la pertinencia de valorar el desempeño del docente mediante diversos medios, Theall y Franklin (2000; en Luna & Torquemada, 2008) opinan que los cuestionarios a partir de la opinión de los estudiantes corresponden a una de las estrategias más recurridas en Norteamérica, Europa y Asia. Además, reportes de otros estudios realizados en México confirman que esta modalidad es una de las más estudiadas (Luna & Torquemada, 2008).

Rueda, Luna, García y Loredo (2011), al hacer un balance respecto a la evaluación del desempeño, entre otras cosas, señalan que cuando se implementan los

cuestionarios de opinión estudiantil es preciso tomar en cuenta que el sistema de evaluación a implementar debe satisfacer al menos las necesidades de los docentes y de los estudiantes. En este sentido se ha de buscar apoyar la formación y mejora del profesorado, además de sus condiciones económicas, pero sobre todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, de tal forma que el alumno se vea beneficiado directamente.

Por otra parte, Calderón y Escalera (2008), citan que es necesario mejorar los sistemas de evaluación de la actividad docente, de tal manera que ésta se configure realmente como un instrumento que permita percibir los puntos fuertes y débiles de su método y sobre todo, mejorar la actividad docente; sin embargo, para poder considerar los resultados de los procesos de medición como un insumo válido para la toma de decisiones, es importante analizar cómo se lleva a cabo el proceso de evaluación.

### *Metodología*

El presente es un estudio de tipo exploratorio, descriptivo y de carácter cualitativo. Se trabajó con un grupo focal integrado por 16 estudiantes típicos los cuales pertenecían a distintos Programas Educativos y cursaban semestres intermedios.

Para el proceso de recuperación de información se implementó la entrevista grupal a partir de una guía semiestructurada. Dicha guía contempló cuatro ejes temáticos: opinión general respecto a la evaluación docente, motivos por los cuales los alumnos no responden los cuestionarios, sugerencias generales sobre la evaluación y aspectos que debe cumplir el buen maestro. Las opiniones de los participantes se grabaron y transcribieron para su posterior proceso de análisis. Como producto del análisis, que parte de los ejes temáticos, se agruparon los resultados en dos categorías, que integran los cuatro ejes. Posteriormente se describen los resultados y conclusiones de la investigación.

### *Resultados y discusión*

Los resultados del estudio de la percepción estudiantil sobre la evaluación docente en el ITSON se sintetizan en dos categorías: a) motivos por los cuales los

alumnos no responden el cuestionario para la evaluación docente y b) percepción estudiantil hacia la mejora del instrumento de opinión estudiantil y su aplicación en línea.

En esta descripción de resultados se incorporan viñetas como evidencia de las opiniones del estudiante. Cabe aclarar que por cuestiones prácticas y de confidencialidad se omiten los nombres de los participantes. Las claves alfanuméricas indican la participación individual del alumno, la “A” sustituye el nombre común “alumno” y el número se usó para diferenciar la opinión de cada estudiante. La numeración se hizo en forma aleatoria a partir de la posición física que ocuparon en la sala (aula) los participantes al momento de desarrollar la entrevista al grupo focal.

Antes de presentar la primera categoría, es importante mencionar los comentarios generales del estudiantado sobre la evaluación docente que se desarrolla en la institución. Cabe señalar que en sus respuestas se advierten opiniones divergentes. Una parte del grupo considera a la evaluación como un requisito implantado por el ITSON y los otros señalan que los estudiantes no conocen del todo el proceso y que por ello no se le da la relevancia que se le debe dar. Sin embargo, la mayor parte de los participantes coinciden en las ventajas e importancia que representa esta acción. Algunas expresiones se ilustran a continuación:

A1. *“Está bien que se haga”.*

A4, A10, A12. *“Es muy importante la evaluación”.*

Al cuestionar a los estudiantes sobre lo que pensaban sobre la evaluación docente desarrollada en la institución hicieron comentarios favorables, pero a la vez relacionaban sus opiniones con insatisfacciones que en gran medida estuvieron asociadas con el uso de los resultados. Las aportaciones de los estudiantes a este respecto se integran en la categoría que se describe a continuación.

*1) Motivos por los cuales los alumnos no responden el cuestionario de evaluación docente.*

Los principales motivos por los cuales los alumnos no responden el cuestionario para la evaluación docente, se agruparon en dos subcategorías: 1) falta de interés

estudiantil para participar como evaluadores, así como 2) su insatisfacción y duda ante el uso de la información que concentra los resultados de dicha evaluación.

2) *Falta de interés estudiantil en su rol de evaluadores.*

Los alumnos manifestaron su falta de interés hacia el proceso de evaluación, como uno de los principales motivos para no responder al instrumento de evaluación docente. Consideran que su participación es poco relevante. Por ejemplo A2 dice “*Es puro requisito*” cuando se cuestiona al grupo sobre la importancia que le otorgan este tipo de evaluación. En general, los participantes avalan la opinión de que la evaluación es sólo un requisito y que en ocasiones la realizan porque sus profesores la solicitan como una actividad obligatoria de la material que cursan y porque de no hacerlo se puede ver afectada su calificación.

Por otra parte, los estudiantes reconocen su subjetividad al momento de hacer la evaluación docente. Por ejemplo, un alumno opina que los estudiantes (sus pares), al tener que responder el cuestionario de forma obligatoria hacen lo siguiente: A2. “*Lo agarran (el cuestionario) y si les cae bien el maestro sí ponen puros cuatros (escala máxima deseable), si les cae mal le ponen puros unos (escala mínima)*”. En estos casos, el entrevistado comenta que simplemente se responde por obligación, de esta forma se resta credibilidad a la acción de evaluar. Por ejemplo A12 dijo que en una ocasión escuchó a un compañero que le preguntó a otro: “*¿Oye no sabes dónde puedo hacer la evaluación? porque el profe me la pidió*”. En este caso A12 considera que al hacer la evaluación por hacerla, él no le ve tanta credibilidad.

3) *Insatisfacción y duda estudiantil ante el uso de la información.*

Otro factor al cual los estudiantes atribuyen la poca participación en el proceso de evaluación es la falta de información sobre el uso que se le da a los resultados, manifiestan desconocer si el resultado de la evaluación se le entrega al docente y en caso de ser así, se tiene dudas sobre si es anónima la retroalimentación que recibe el profesor. Es importante aclarar que algunos alumnos manifiestan que se les ha dicho que su valoración es anónima, pero de igual forma expresan su desconfianza a ese respecto.

Por otra parte, como grupo focal señalan la necesidad de ver cambios de mejora en los docentes como resultado de la evaluación, lo cual consideran que no sucede. Algunas opiniones individuales avaladas por el grupo focal, ante la pregunta ¿Por qué no responden los cuestionarios de opinión estudiantil los estudiantes? son las siguientes:

A1. *“A la falta de interés, porque la mayoría de los alumnos piensan que no se toma en cuenta eso”* (sus respuestas al contestar el cuestionario). El alumno continúa diciendo: *“Porque ven lo que ha pasado muchas veces, el caso de que los maestros, sobre todo los de planta, que pueden darles comentarios (se refieren a sus comentarios como estudiantes) de qué les está faltando, qué les está fallando, ¡y ahí siguen! Pues, no sé si les hagan algún comentario u observación al maestro pero pues ahí siguen, con los mismos métodos de siempre”*.

Al decir de A1, se advierte su falta de interés por responder a la evaluación y a la vez su insatisfacción del proceso de evaluación, lo anterior porque considera que las opiniones de ellos como estudiantes no son importantes en la toma de decisiones.

En general, los alumnos se preguntan *¿Para qué evaluarlos si no pasa nada?* Por otra parte otros estudiantes del grupo focal dicen:

A1. *“No sabemos cómo llegan los resultados hacia ellos (maestros) o lo que les dicen a ello. O si se les llaman la atención”*.

A6. *“Yo tenía un maestro, y todos lo evaluamos y era muy mal maestro y todavía ese sigue dando clases en el ITSON, dando la misma clase de la misma manera en que la daba”*.

a) *Percepción estudiantil hacia la mejora del instrumento de opinión estudiantil y su aplicación en línea.*

En este rubro se identifican: 1) opiniones de mejora hacia las características del instrumento y 2) la postura en cuanto a la aceptación de la aplicación *“On line”*.

1) *Percepción estudiantil hacia la mejora del instrumento.*

Los estudiantes manifestaron opiniones orientadas hacia la pertinencia del instrumento para su aplicación en materias de diferente naturaleza. Consideran que no se puede evaluar de la misma manera las asignaturas que abordan solamente teoría, los

talleres, los laboratorios y las clases de investigación. En dicho sentido, ellos creen que debe revisarse el contenido del instrumento. A partir de su experiencia como estudiantes y como proveedores de información en la evaluación docente, uno de los alumnos expresó a manera de sugerencia:

A6. *“Tal vez actualizar las preguntas, siento que están enfocadas a un perfil de maestro ideal, así como que le falta ver otros aspectos porque no todas las carreras ven lo mismo, hay otras que por ejemplo, en la licenciatura del Ejercicio Físico me imagino que lo hacen más práctico y los ingenieros también. Eso siento, que a veces aplica más a lo que son las licenciaturas, a lo que son la parte teórica”.*

Durante el desarrollo de la sesión en el grupo focal también surgen comentarios a manera de crítica en torno a la escala de medición empleada en el cuestionario. Esta idea es validada al menos por la mitad del grupo focal. Como evidencia se cita la aportación de un alumno.

A12 *“En mi punto de vista (el cuestionario) tiende a los dos extremos de esa evaluación. No hay un punto medio”.* Por otra parte este mismo participante señala una limitante del cuestionario, señala que éste no permite poner observaciones al lado de cada ítem. Por ejemplo dice que alguien puede opinar: *“Sí, me cae muy bien el profe pero no le pones entre paréntesis, porque fue barco, o este me cayó muy mal, pero no le pone es que reprobé, ahí pondríamos otro paréntesis, o me reprobó, o cosas así”.* Continúa diciendo que el diseño del instrumento *“Tiende mucho a los dos extremos”.*

Respecto a los aspectos que deseablemente debe cumplir el buen maestro y que debieran considerarse en el instrumento se establecieron aspectos clave desde la percepción del estudiante: experiencia, dominio temático y actitudes del docente.

Los alumnos consideran que la *experiencia* del docente es necesaria para el desarrollo de la clase y que no basta ser buen ingeniero o buen licenciado. La postura del alumno es que se valore tanto la experiencia en el campo laboral como las habilidades

docentes para la transferencia o presentación de información vinculada con la aplicación práctica. De las opiniones de los sujetos participantes se recupera lo siguiente:

A1. *“Que tenga experiencia laboral en el tema que está dando.....a mí sí me gusta que cuando esté dando la clase, este explicando (...); que establezca relaciones te diga cómo se va a utilizar eso en la empresa. Eso inspira a ponerle atención”*.

A2. *“Yo creo que más que nada es de que, depende de la persona porque en el caso de mi carrera hay una maestra que acaba de egresar hace como dos años, y ella ya ahorita ya terminó su maestría, y es mucho mejor maestra que una investigadora que nos da clases. O sea, una cosa es ser maestro, y una cosa es ser una persona muy bien preparada, pero pues si ya te dedicas a la investigación tal vez no sepas dar muy bien la clase y ese es el principal problema en la carrera, la mayoría de nuestros maestros son investigadores y están trabajando en laboratorios, entonces al momento de estar con el alumno, no pueden responder de una forma... no sé... como debería de ser”*.

A2. *“Que den resultados, eso también”* (dice A2 al coincidir con otros comentarios del grupo). *“En mi carrera no tengo ningún problema con que sean recién egresados de hecho tenemos los mismos resultados. Pero eso sí, coincido con mis compañeros que dicen que el maestro este bien preparado, me imagino que el ITSON da cursos para quien no sepa dar clases”*.

Aunado a la experiencia laboral y en la impartición de cursos, los estudiantes valoran como muy importante la preparación del profesorado como docente. Un aspecto relacionado con la experiencia disciplinar y docente, del profesor universitario, es su *dominio temático*. En las opiniones los alumnos se solicita dicho dominio por parte del profesor ya que se percatan que en ocasiones no se cumple con el programa de clase, o bien no se atienden dudas del alumno al ofrecer explicaciones superficiales e incluso no se cumple con el programa del curso.

A1 dice: *“Lo que había comentado ahorita, que el programa de la clase no se cumple porque los maestros a veces se sienten a gusto con otros temas y*

*cambian los programas para dar, según ellos, la clase mejor (...) o porque según ellos es lo que saben más y nos alteran el programa”.*

A8. *“Otra cosa sería que como dicen los compañeros tener dominio de la materia, muchas veces se nota cuando un maestro, de plano lo pusieron porque le cae bien al Vicerrector o algo por el estilo, no sé pues es un decir, ¡no estoy afirmando nada!”*

La percepción del alumno respecto a la evaluación da indicios de la importancia que tiene dicho proceso para poder distinguir al docente que está preparado, que tiene experiencia y dominio para abordar el programa de curso y quién no.

Otro aspecto a mejorar en cuanto a los contenidos a evaluar en el cuestionario de evaluación son las *actitudes*. Los alumnos refieren que la actitud docente puede llegar a afectar su desempeño en la clase, manifestaron la importancia de la empatía y el respeto como valores fundamentales de la docencia. A continuación ejemplos de esta postura:

A: *“Que tenga compromiso con que aprenda el alumno, porque igual se puede soltar un habladero y si aprendes o no, le da igual”.*

A2: *“También que sea respetuoso, no en un grado muy exagerado pero también me han comentado que un maestro que daba Finanzas cuando iba a enseñar un tema decía: “bueno pues este tema, se los voy a enseñar nomás porque viene en el programa pero no sé ni para qué se los enseñan si lo utilizan las personas exitosas que trabajan en bolsa. (...) Otra que daba Econometría también ofendía a los de cada carrera decía “no sé para que estudian eso si de todas formas ni le sirve a esa carrera”.*

A6. *“Que sea accesible, porque muchas veces que tienes problemas con la materia y si ocupas unas asesorías extras pues, y pues (...) en la hora de clase no puedes alcanzar a ver todo”.*

A4.: *“Yo digo que primero tiene que ser humano, hay muchos problemas porque, me ha tocado a veces uno que otro maestro intransigente y no es que ¡ay el alumno, lo tengo que cuidar!, sino que sea empático”.*

Finalmente, los estudiantes consideran un acierto la opción de respuesta abierta ya que les ofrece la posibilidad de expresar los aspectos omitidos en el cuestionario. Los alumnos sugieren revisar e incorporar elementos al instrumento, pero al mismo tiempo hay un consenso de opinión al señalar que el cuestionario debe mantenerse en un formato con pocas preguntas para poder evaluar rápido y al mismo tiempo tener oportunidad de poner atención en las respuestas que se darán.

2) *Comentarios de la postura del estudiante sobre la “aplicación en línea.*

Con respecto a la modalidad de responder el instrumento vía “On Line”, la mayor parte del grupo focal expresó su agrado hacia el medio de aplicación a través de la plataforma virtual institucional. Por ejemplo, uno de los alumnos señala la optimización de tiempo al responder en línea. A1. *“Yo lo siento más cómodo, como que es más fácil evaluar porque así te puedes ir con todos los maestros, es más rápido, tardas menos de cinco minutos en la evaluación de cada maestro”.*

Los argumentos a favor del cuestionario de opinión estudiantil para evaluar al docente vía Internet coinciden con la aportación del alumno A1, simultáneamente a dicha aportación el resto del grupo asiente con la cabeza para expresar su acuerdo. Sin embargo, se presentó el caso de un estudiante que piensa de forma distinta:

A2: *“Que los pongan en Internet y en línea está bien, pero a muchos no les parece, para ellos les da flojera, les da igual. Lo mejor sería hacerlo en el aula, ... sí, se batallaría más a lo mejor, pero es lo que se tendría que hacer”.*

En general, los estudiantes que integraron el grupo focal consideran que faltan acciones que permitan obtener el mejor aprovechamiento de los cuestionarios. Los participantes sugieren y solicitan mayor difusión, orientación y capacitación del proceso así como sobre la finalidad que se pretende con la evaluación del profesorado por parte de la institución.

A partir de estos resultados se puede observar que, como lo indican Calderón y Escalera (2008), es necesario mejorar los sistemas de evaluación en torno al docente. En específico, los hallazgos de este estudio confirman la reflexión de Rueda (2011) ante las prácticas de evaluación predominantes en México; es decir, se encontró que hace falta

precisar con claridad la intención que tienen las instituciones al impulsar los procesos de evaluación del desempeño del profesorado. En este caso, desde la percepción de los estudiantes no se tiene certeza sobre la utilidad de sus aportaciones al responder los cuestionarios, incluso dudan en brindar su opinión porque consideran que no pasa nada con los resultados que se obtienen. La postura del estudiante a favor de esta modalidad de evaluación es positiva solamente si se posicionan en las ventajas ideales de la misma; sin embargo, en congruencia con el punto de vista de Rueda, Luna, García y Loredo (2011), los alumnos piensan que los resultados que arroja su participación al responder los cuestionarios deben orientarse a subsanar necesidades en torno a ellos como aprendices.

Por otra parte, en opinión de los participantes de este estudio la opción de responder en línea es favorable. En cuanto al instrumento consideran que es conveniente otorgarle un mayor peso al dominio, experiencia y actitudes del docente como indicios importantes de la evaluación de su desempeño. Estos dos aspectos pueden considerarse como sugerencias desde la voz de los estudiantes al momento de llevar a cabo ajustes en el proceso de la evaluación docente. Dichas aportaciones son relevantes si se toma en cuenta la complejidad de dicha actividad, es necesario tener referentes desde la opinión de todos los actores, y en este caso se tiene la perspectiva del estudiante.

De acuerdo con Rueda, Luna y Torquemada (2003) y con Rueda (2008; 2009) se confirma que los esfuerzos hacia la evaluación no deben restringirse a requisitos administrativos o de estímulo económico. Sin embargo, los alumnos de la IES en la que se hizo la investigación opinan que su participación en la evaluación docente constituye un requisito por parte de la institución y/o del docente, lo cual no les permite advertir las bondades que dicha evaluación representa para ellos. Por otra parte, los alumnos piensan que sus observaciones deben tomarse en cuenta para modificar y mejorar las prácticas docentes, esto último es consistente con la puntualización de Rueda (2009) respecto a la necesidad de que la evaluación se enfoque hacia la mejora.

Un problema que se hace latente desde la perspectiva del estudiante, es que falta mayor claridad respecto a las decisiones que se toman a partir de los resultados de la

evaluación, dicha incertidumbre origina la falta de interés por parte del alumnado para responder los cuestionarios.

### *Conclusiones*

Los estudiantes están a favor de la aplicación del cuestionario de evaluación docente, siempre y cuando los resultados impacten en la toma de decisiones con relación al docente. Sin embargo, la percepción del alumno en general es que no pasa nada a partir de los resultados de dicha evaluación, por lo que opinan que esto debe mejorar. Además los alumnos esperan que como resultado de la evaluación se tomen decisiones relacionadas con la contratación o programación del profesorado.

En lo referente al medio, la mayoría de los estudiantes demostraron aceptación a su aplicación en línea. Por otra parte, consideran que es difícil que los alumnos contesten si no tienen interés en participar en la evaluación por sentir que no son escuchados. Coinciden en la necesidad de orientar al alumno para aumentar su participación dentro del proceso de evaluación y que ésta sea a su vez lo más objetiva posible, además de reconsiderar los aspectos que valora. Se opina que faltan acciones para evitar la subjetividad al momento de contestar los cuestionarios.

Con relación a las características de un buen docente que deberían evaluarse, los estudiantes opinan que la experiencia, la actitud y el dominio del tema, son elementos necesarios en el instrumento. El grupo coincide en la importancia de contar con docentes preparados para transmitir el conocimiento, y por ende para favorecer el aprendizaje.

La postura del estudiante ayuda a afirmar que la evaluación docente no puede verse como una acción ajena a los ajustes propios de la práctica docente. Las opiniones del estudiantado con relación a la mejora del proceso de la evaluación docente, y en concreto, al instrumento empleado, están relacionadas con la necesidad de incorporar elementos que aseguren un mejor desempeño de las habilidades docentes y sus actitudes.

Por último, si en las IES se apuesta por emplear los cuestionarios de opinión estudiantil para evaluar al docente, es indispensable que se concreten acciones para sensibilizar y asegurar al estudiante que su aportación es de utilidad en el proceso de

evaluación, para que de esa forma se evite responder solamente por obligación o por temor a que de no hacerlo se verá afectada su calificación.

### Referencias

- Calderón, C. & Escalera, G. (2008). La evaluación de la docencia ante el reto del Espacio Europeo de la Educación Superior (EEES). *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 11(21), 237-256.
- Colina, Z., Medina, N., Parra, D., Cendros, J. & Montoya, C. (2008). Modelo de evaluación del desempeño docente en la función docencia universitaria. *Investigación Educativa*, 12(22), 99-126.
- González, M., Del Hierro, E., Madueño, M. & Cuevas, O. (2007). *Opinión de alumnos ITSON sobre la evaluación docente Online*. Memorias en extenso de la reunión anual de academias ITSON, 42-56, Sonora, México.
- González, M., Del Hierro, E., Madueño, M. & Cuevas, O. (2008). Documentación de las fases diseño, validación, aplicación online y sistematización del proceso para la evaluación del desempeño docente del Instituto Tecnológico de Sonora. *Revista Vasconcelos de Educación*, 4(6), 14-17.
- González, M., Del Hierro, E., Orduño, B. & Cabrera, M. (2009). Resultados de la Evaluación del Desempeño Docente Institucional. En Del Hierro E., González M. y Velarde M. (Comp.). *Las Nuevas Modalidades de la Educación hacia la Virtualización*. (32-43). México: ITSON.
- Luna, E. & Torquemada, A. (2008). Los cuestionarios de evaluación de la docencia por los alumnos: balance y perspectivas de su agenda. *Revista Electrónica de Investigación*.
- Rueda, M. (2008). Reflexiones sobre el diseño y puesta en marcha de programas de evaluación de la docencia. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 1(3), 163-168.
- Rueda, M. (2009). La evaluación del desempeño docente: consideraciones desde el enfoque por competencias. *Revista electrónica de investigación educativa*, 11(2),

1-16. Recuperado el 6 de junio de 2013 de  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1607-40412009000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412009000200005&lng=es&tlng=es).

- Rueda, M. & Luna, E., (2011). La valoración del desempeño docente en las universidades. En M. Rueda (Ed.), *¿Evaluar para controlar o para mejorar?* 9-30. México: Bonilla Artigas Editores.
- Rueda, M., Luna, E., García, B. & Loredó, J. (2011). Resultados y recomendaciones. En M. Rueda (Ed.), *¿Evaluar para controlar o para mejorar?* 197-222. México: Bonilla Artigas Editores
- Rueda, M., Lora, E. & Torquemada, A. (2003). La Evaluación de la Docencia en las Universidades Mexicanas. *Revista de la Educación Superior*, 127 (32), 96-137.
- Vásquez, F. E. & Gabalán, J., (2006). Percepciones estudiantiles y su influencia en la evaluación del profesorado. Un caso en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali – Colombia. *Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 12 (2). Recuperado el 13 de octubre de 2009 de: [http://www.uv.es/RELIEVE/v12n2/RELIEVEv12n2\\_3.html](http://www.uv.es/RELIEVE/v12n2/RELIEVEv12n2_3.html)

## **Capítulo IX. Utilización del modelo visual Modflow para predicción del bombeo de equilibrio en el acuífero del Valle de Boca Abierta, Sonora**

Carlos Ernesto Velázquez Nieblas<sup>1</sup>, Luis Alonso Islas Escalante<sup>2</sup>,  
Armando Gabriel Canales Elorduy<sup>1</sup> y David Heberto Encinas Yepiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ciencias del Agua y del Medio Ambiente

<sup>2</sup>Departamento Ingeniería Civil

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [carlosnieblas@gmail.com](mailto:carlosnieblas@gmail.com)

### *Resumen*

La sobreexplotación del agua, los climas extremos y la escasa o nula recarga del acuífero de Boca Abierta han provocado un descenso significativo en los niveles estáticos del agua subterránea en el Valle de Guaymas y la zona de Boca abierta, esto a dado como resultado que en las cuatro décadas recientes se haya presentado un rezago muy significativo de agua para los habitantes de esta zona y, cada vez son más frecuentes panoramas como el abandono parcial o total de zonas de cultivos por la nula productividad del suelo. La zona acuífera está delimitada al Este y al Norte con la Sierra del Bacatete, al Oeste con la Sierra San Francisquito y al Sur la Bahía de Guásimas. El modelo consta de cuatro capas de materiales, con una malla de 39 columnas por 80 renglones, se consideraron fronteras de carga constante en la parte sur del acuífero y fronteras de carga general en la parte norte. Se establece un periodo de simulación en estado estable para una duración de 15 años (1995 – 2010). Una vez realizada la simulación, se calibra el modelo mediante el ajuste de propiedades del acuífero tales como la conductividad hidráulica. Del comparativo entre los niveles estáticos calculados por el modelo y los de observación se obtiene un valor RMS de 15.61% y un coeficiente de correlación igual a 0.84. Con los resultados obtenidos de la calibración se establece que un bombeo igual a 87.8 hm<sup>3</sup>/año, mantiene los niveles de agua subterránea en las condiciones de abatimiento actuales.

### *Introducción*

#### Antecedentes

El agua subterránea representa una de las fuentes de mayor importancia para el abastecimiento de agua para uso general en el mundo, sin dejar de mencionar dos de los más importantes como lo son la necesidad de agua potable para consumo humano y su uso para la agricultura. A partir de los años 50's a la fecha se tiene registrado un descenso significativo en los niveles estáticos de los pozos del acuífero de los valles de

Guaymas y Boca Abierta que abastecen de agua a las poblaciones del Puerto de Guaymas y de Empalme. Tal situación se ha derivado de la sobreexplotación de este recurso debido al crecimiento de la población y al repunte de las actividades turísticas, además de mantenerse el uso agrícola en esta región.

Todo lo anterior ha provocado una serie de problemas que han venido a impactar de manera negativa el desarrollo de esta región, tal y como lo es la reducción de la actividad agrícola que hoy en día es una realidad cada vez más recurrente, la improductividad de dichos terrenos de siembra, que en algún tiempo sostenían parte importante de la economía del lugar, no solo se debe a la escasez de agua, si no a otro fenómeno que es derivado de la sobreexplotación y la ubicación costera de este acuífero, que provoca este fenómeno conocido como intrusión salina.

El conjunto de pozos que abastecen a los Valles de Guaymas y Empalme se encuentran en la zona costera que colinda al oeste con el Golfo de California. La cercanía que presenta este acuífero con el océano ha facilitado que a la par con el abatimiento de los niveles estáticos se presente el fenómeno de la intrusión salina, debido a que los niveles actuales del agua en el acuífero se encuentran con un abatimiento hasta de 4 metros por año, muy por debajo del nivel del mar, lo cual ha provocado con el paso de los años la intrusión de agua salada al acuífero.

#### Planteamiento del problema

La sobreexplotación del agua subterránea aunado a los climas extremos y la escasa o nula recarga del acuífero han provocado un descenso muy significativo en los niveles estáticos de los pozos que operan en el Valle de Boca abierta, lo cual ha dado como resultado que en las últimas cuatro décadas y hasta hoy se esté presentando un rezago muy significativo de agua para los habitantes de esta zona, en la que cada vez son más frecuentes panoramas como el abandono parcial o total de zonas de cultivos por la nula productividad del suelo.

Otro de los factores que ha impactado de manera negativa, no permitiendo el aprovechamiento total del agua dulce existente en este momento en el subsuelo, es la intrusión salina. Como ya se mencionó anteriormente, el acuífero de Boca Abierta que

abastece de agua a las ciudades de Guaymas, Empalme y San Carlos se encuentra con colindancia en una de sus fronteras con la franja costera del Mar de Cortez, lo cual facilita que al estar siendo sobreexplotado se vean alteradas las condiciones normales de descarga de agua dulce hacia el mar, dando como resultado la inversión del gradiente hidráulico del acuífero, esto es, flujo de agua de mar hacia el acuífero, (Nuno, 2001; Cardona et al., 2003).

Con base en todo lo antes mencionado y considerando las condiciones y factores que afecten el funcionamiento del acuífero de Boca Abierta, se plantea el siguiente problema, con la modelación del sistema por medio del software Visual Modflow; ¿Cuál será el gasto de bombeo en el acuífero de Boca Abierta para estabilizar los niveles estáticos en su profundidad actual?

#### Objetivo general

Predecir el gasto de bombeo en el acuífero de Boca Abierta, en las condiciones actuales de sobreexplotación, para mantener los niveles estáticos al menos en su nivel actual.

#### Objetivos específicos

- Determinar el modelo conceptual del acuífero.
- Alimentar el modelo con los datos de niveles estáticos, bombeo, etc. de la zona de estudio.
- Calibrar el modelo.
- Predecir el gasto de bombeo para mantener niveles del agua en equilibrio.

#### Justificación

La aplicación de nuevas tecnologías para el análisis y posibles soluciones futuras de un problema determinado que atañe a la comunidad del área en la que se encuentra la universidad, es una de las características fundamentales que define a las instituciones de educación superior. La solución de los problemas que se presentan en la actualidad tanto

políticos, sociales o económicos demandan un análisis muy exhaustivo y una predicción de los escenarios futuros tal, que la solución sea la más precisa posible y con un mínimo margen de error.

Con la realización de este estudio se pretende predecir el bombeo en el acuífero de Boca Abierta necesario para mantener los niveles estáticos actuales, para lo cual será fundamental la aplicación de nuevas tecnologías que permitan previo análisis de la situación actual de sobreexplotación del acuífero, conocer con exactitud esta variable.

Todo esto se logrará mediante una modelación y calibración del sistema por medio del software Visual Modflow. Esta aplicación la realizó un estudiante, debidamente asesorado, de la misma institución en cuyo entorno se encuentra la zona de estudio.

La predicción de escenarios futuros y la obtención del bombeo que mantenga los niveles actuales en el acuífero de Boca Abierta sin duda alguna traerá beneficios que son de suma importancia para la comunidad de estos valles, y vitales para la preservación de la vida útil del acuífero, ya que determinando el bombeo también se garantiza el abastecimiento de agua para generaciones futuras de esta región.

Parte de los beneficios de los resultados de este proyecto es que tendrán un impacto de manera directa en las instituciones u organismos encargados en la administración y distribución del agua, ya que ayudarían a visualizar de una manera más realista el problema actual y a una toma de dediciones más objetiva. Por otra parte la implementación de los resultados de este proyecto por parte de los gobiernos beneficiaría de manera directa a todos los habitantes de esa región, ya que garantizaría el abasto de agua para las múltiples necesidades de los habitantes.

#### Delimitaciones

Los límites laterales del acuífero del Valle de Boca Abierta son la Sierra de San Francisquito al oeste y la Sierra de Bacatete al este, en su parte noroeste el valle colinda con el de Guaymas, al sur tiene el frente costero de la bahía de Guásimas del Golfo de California. El valle de Guaymas forma parte de la cuenca hidrográfica del río Matape,

pequeña cuenca ubicada entre las cuencas hidrográficas del río Sonora, al noroeste y del río Yaqui al sureste. No se considerará inyección de pozos ni recarga vertical provocada por zonas de infiltración.

### *Fundamentación teórica*

#### Comportamiento de los acuíferos

Todo acuífero tiene un mecanismo natural de recarga y descarga, que puede ser modificado mediante recarga y/o descarga artificiales. La recarga natural del acuífero ocurre por la infiltración de agua de lluvia en formaciones permeables; aunque no toda el agua que se infiltra llega al acuífero debido a que una parte de ella es retenida por las formaciones que se encuentran arriba del nivel freático. El acuífero puede ser recargado también artificialmente, mediante la infiltración de agua a través de obras construidas con ese fin.

El agua se mueve en el acuífero, de las zonas de recarga a las zonas de descarga, siguiendo las trayectorias de menor resistencia y a una velocidad que depende de la permeabilidad de las rocas y de la pendiente de la superficie piezométrica. La velocidad puede variar desde unos cuantos centímetros por año en materiales arcillosos, hasta varios cientos de metros por año en gravas; aunque en algunas rocas volcánicas y calizas, la velocidad puede llegar a ser de varios kilómetros por año, (Canales, 2008).

El conocimiento de la configuración y evolución de la superficie piezométrica, indispensable para estudiar el comportamiento, cuantificar la recarga y planear el aprovechamiento del acuífero, requiere de la observación continua de los niveles estáticos del acuífero, en pozos distribuidos en el área estudiada. Se llama nivel estático, al nivel de agua subterránea no afectado por el bombeo del pozo observado o en pozos próximos a él.

#### Características hidráulicas de los acuíferos

Los principales valores de las propiedades de los acuíferos empleados en la cuantificación del agua subterránea son la transmisividad y el coeficiente de

almacenamiento. En algunos sistemas acuíferos semiconfinados interesa también la permeabilidad en sentido vertical de los estratos semiconfinantes.

### Permeabilidad

La permeabilidad de un material es una de las características que mayor interés reviste para el ingeniero. En el campo de la hidrogeología la permeabilidad tiene importancia primordial: de ella depende fundamentalmente el rendimiento de las captaciones y la velocidad de circulación del agua subterránea; su conocimiento es esencial para cuantificar los caudales de flujo subterráneo y la velocidad de propagación de un contaminante en el subsuelo; así mismo, es de los datos básicos para simular el comportamiento de un acuífero. Y, probablemente en este campo donde su determinación plantea mayores dificultades. El coeficiente de permeabilidad se expresa en unidades de velocidad, generalmente, en el sistema métrico, en m/s o cm/s.

### Transmisividad

Otro concepto relacionado con la permeabilidad es el del coeficiente de transmisividad, el cual se define como el producto del coeficiente de permeabilidad y el espesor saturado del acuífero. Se expresa en  $m^2/s$  o  $m^2/día$ .

### Coefficiente de almacenamiento específico

En el subsuelo un punto cualquiera está sometido a una presión total (p) cuyo valor es numéricamente igual al peso de la columna de material, de área unitaria, que gravita sobre el punto considerando esto es:

$$P = \gamma_s * Z$$

En la que  $\gamma_s$  y Z son el peso específico del material y la profundidad a que se encuentra el punto con respecto a la superficie del terreno, respectivamente.

La presión total esta soportada en parte por el esqueleto sólido de la roca, y en parte por el agua contenida en sus vacíos. A la presión P, que soporta el esqueleto, se le denomina presión efectiva o presión intergranular; la presión a que está sometida el

agua contenida en los vacíos recibe el nombre intersticial o presión de poro, y es numéricamente igual al peso de la columna de agua, de área unitaria, que gravita sobre el punto. Por tanto, la presión total puede expresarse, en términos de sus componentes como sigue:

$$P = P + \gamma h$$

Siendo  $\gamma$  y  $h$  el peso específico del agua y la carga hidráulica sobre el punto, respectivamente.

Cuando la carga hidráulica desciende, la presión intersticial disminuye y como consecuencia las moléculas de agua se expanden; al mismo tiempo, puesto que la presión total es constante (a menos que se modifique artificialmente, por ejemplo, construyendo una estructura o efectuando una excavación), la presión efectiva aumenta en la misma proporción, lo que provoca la compactación del material. Como resultado de ambos procesos un cierto volumen de agua es liberado.

Se define como coeficiente de almacenamiento específico ( $S_s$ ) a la cantidad de agua liberada por unidad de volumen de material, cuando la carga hidráulica decrece de unidad. Se expresa en unidades de 1/L (longitud).

Un concepto relacionado con lo anterior es el coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) definido como la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad. Es un coeficiente adimensional.

De las definiciones anteriores se desprende que la relación entre ambos coeficientes es:

$$S = S_s * b$$

En la que  $b$  es el espesor del acuífero.

Pese a que existen materiales muy compresibles, el volumen de agua cedido por compactación es relativamente pequeño; por ello, el coeficiente de almacenamiento de acuíferos confinados o semiconfinados tiene valores muy reducidos: en el rango de  $10^{-2}$  a  $10^{-5}$ .

## Modelación de acuíferos

Uno de los caminos para integrar y expresar conocimiento acerca de los procesos naturales es la modelación conceptual y matemática (Anderson, 1992). Se entiende por modelo de un acuífero al procedimiento, ya sea analítico, matemático o analógico que permite realizar la simulación del comportamiento dinámico, o de la respuesta de un acuífero, a las diferentes hipótesis de explotación a las que es sometido, es decir, conocer las variaciones de los niveles piezométricos del acuífero bajo diferentes políticas de extracción, (Canales, 1999).

Para realizar el modelo según Custodio (1996), se requiere de los siguientes datos:

La geometría del acuífero.

- a) Sus características hidrodinámicas: permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
- b) Las leyes que rigen el movimiento del agua.
- c) Las condiciones de frontera.
- d) Las condiciones iniciales.
- e) La descripción de las condiciones exteriores que influyen en el sistema.

## Proceso de simulación

El proceso se puede dividir en tres partes principales: identificación, calibración y predicción del modelo. La parte de identificación consiste en comprobar el modelo conceptual, es decir, verificar que los fundamentos del modelo están siendo respetados por el comportamiento inicial del acuífero.

Quizá la parte más difícil en cualquier procedimiento de modelación sea la calibración del modelo, la cual se logra una vez que los resultados arrojados por el modelo son similares a los observados históricamente. Es muy importante hacer notar la importancia que reviste esta fase, ya que la parte de predicción, a la cual se requiere llegar finalmente, estará basada en ella. Finalmente, una vez calibrado el modelo,

continúa la etapa de predicción, que permite inferir sobre el comportamiento del acuífero en estudio, analizando diferentes alternativas de explotación del mismo.

### Modelo matemático Modflow

La ecuación diferencial que gobierna el flujo en un medio poroso, es la ecuación de flujo transitorio sujeta a condiciones iniciales y de frontera cuya expresión es la siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j}) + q_s = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Donde:

$K_{ij}$  es el tensor de conductividad hidráulica;  $h$  es la carga hidráulica;  $q_s$  es el gasto de entradas y salidas y  $S_s$  es el almacenamiento específico.

### Metodología

#### Zona de estudio

El valle de Guaymas se localiza en una zona semidesértica en la porción Centro Sur del Estado de Sonora, quedando comprendido dentro de la Región Hidrológica No 9 Sonora Sur, abarcando el municipio de Empalme y parcialmente el municipio de Guaymas, (ver figura 1).

Las poblaciones principales que se encuentran dentro del perímetro del acuífero, son: Empalme y localidades menores como Ortiz y La Misa así como poblados ejidales de Santa María, Maytorena, Cruz de Piedra y José María Morelos, entre otros.

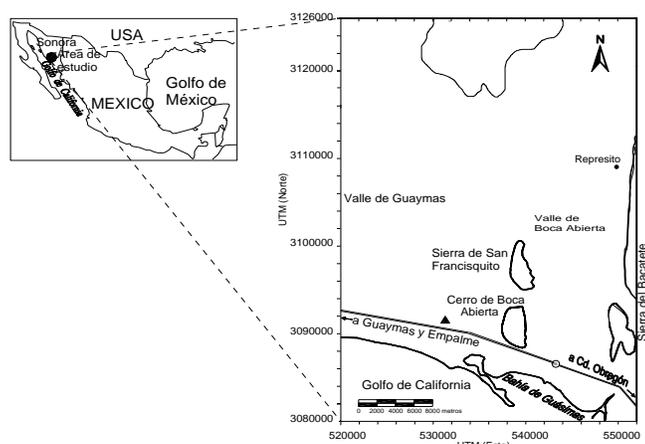


Figura 2. Localización del Valle de Boca Abierta.

### *Procedimiento*

Para la realización de este trabajo y el cumplimiento de los objetivos que se fijaron al inicio del mismo, se partió de información correspondiente a ubicación de pozos, cortes litológicos y niveles estáticos, obtenidos por la CONAGUA, de los pozos que se encuentran ubicados en el valle Empalme, en el área conocida como Boca Abierta.

Se trabajó con la información obtenida de los sondeos referente a cortes litológicos de los pozos para así determinar con más exactitud la configuración y distribución de las capas de materiales que conforman el acuífero del valle de Boca Abierta.

Con el conocimiento de los tipos de materiales que conforman el acuífero, y las profundidades a las que se encuentran se hizo una clasificación por capas, la cual dio como resultado una clasificación de cuatro tipos de materiales: material A (arcilla limosa en la parte superior), B (gravas y arenas), material C (arcilla calichosa con una profundidad promedio a los 100 metros), material D (gravas con arena en el fondo).

Una vez definida la constitución de las capas del acuífero se hizo el cálculo de las propiedades hidráulicas de dichos materiales; transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento, a partir de dos pruebas de bombeo llevadas a cabo por Osorio, (2000).

Mediante un modelo digital se obtuvo la configuración topográfica correspondiente a la zona de Boca Abierta, ya con la configuración topográfica definida del lugar y la determinación de los tipos de materiales que conforman cada capa y sus respectivas profundidades, se procedió a modelar las capas de material por medio del software Surfer 8.

Con todo lo anterior quedo definido el modelo conceptual del acuífero, el paso siguiente fue alimentar con toda la información al modelo Visual Modflow, definiendo así la zona del acuífero, la topografía, las capas de materiales sus profundidades y sus propiedades hidráulicas, la ubicación, número y profundidades de los pozos, el bombeo

correspondiente a cada pozo, los tipos de frontera y la recarga del acuífero, niveles estáticos iniciales y los niveles de observación.

Después de construir el modelo conceptual del acuífero de Boca Abierta en Modflow, se procedió a la modelación de flujo en el acuífero la cual consistió en las siguientes etapas: discretización, calibración y predicción.

Resultados de la simulación con Modflow.

Posterior a la discretización de la zona de estudio se procedió a la construcción del modelo en Visual Modflow (ver Figura 2 y 3), el cual quedó constituido por cuatro capas de materiales, de las cuales se utilizaron los espesores medios de cada una, el modelo consta de una malla de 39 columnas por 80 renglones, se consideraron fronteras de carga constante para simulación de flujo subterráneo en el sur del acuífero y fronteras de carga general en la parte oeste, para la zona de influencia de la presa Punta de Agua.

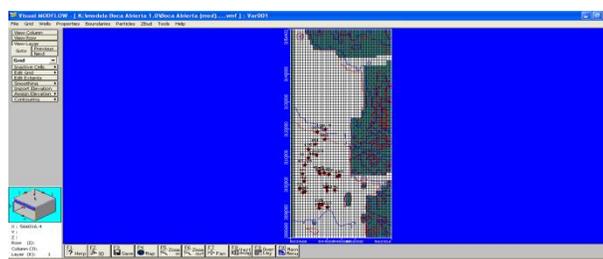


Figura 2. Discretización de la zona de estudio en Modflow.

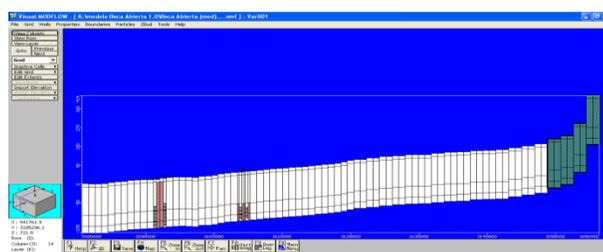


Figura 3. Capas del modelo en Modflow.

### Calibración del modelo

Una vez realizada la simulación del modelo en estado estable se hizo la calibración del mismo en términos de la media aritmética de la raíz cuadrada del error

medio (RMS). Dicha calibración se logró mediante el ajuste de las propiedades del acuífero tales como la conductividad hidráulica, al mismo tiempo de calcular RMS entre los niveles estáticos calculados y los de observación. El modelo calibrado dio como resultado un mínimo RMS estimado de 15.61% y un coeficiente de correlación igual a 0.84.

### *Resultados y discusión*

Con el modelo calibrado y después de simular el flujo en el acuífero para diferentes volúmenes de extracción y distintos periodos de tiempo se pudo establecer que para lograr el equilibrio de los niveles de agua en su abatimiento actual en un periodo igual a 10 años es necesario utilizar un volumen de extracción igual a 87.8 hm<sup>3</sup>/año, mismo que garantiza el equilibrio y por ende permite frenar el abatimiento de los niveles para dicho periodo. Este volumen es comparable con las extracciones por bombeo históricas (Ruiz, 2008), que de 186 hm<sup>3</sup>/año en 1983-84 pasó a 97 hm<sup>3</sup>/año en 2006-07.

### *Conclusiones*

De acuerdo a los resultados obtenidos de la modelación de flujo subterráneo del acuífero del Valle de Boca Abierta, el volumen de extracción necesario para estabilizar los niveles de agua subterránea, en su profundidad actual, es de 87.8 hm<sup>3</sup>/año. Este gasto permite que en un periodo igual a 10 años el sistema de flujo subterráneo se mantenga sin presentar un mayor abatimiento al que en la actualidad presenta.

Es recomendable considerar nueva información relacionada con los cortes litológicos y bombeo de pozos para alimentar el modelo y mejorar la calibración. Por otra parte se recomienda considerar estrategias de recarga artificial, como infiltración de los escurrimientos en zonas de mayor permeabilidad, para que sean consideradas en el modelo y tener la posibilidad de elevar los niveles actuales por encima del nivel del mar.

## Referencias

- Anderson, P.M , Woessner, W.W. (1992). *Applied Ground Water Modeling* (Simulation of flow and advective transport).
- Canales, A. (1999). *Hidrología Subterránea*. Instituto Tecnológico de Sonora. pp 144.
- Canales, A. e Islas, L. (2008). *Apuntes de Hidrología Subterránea*. Instituto Tecnológico de Sonora
- CNA, (2001). *Compendio básico del agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México D.F.
- Cardona, A., Carrillo, J., Huizar, E. y Graniel, E. (2003). *Salinization in coastal aquifers of arid zones: an example from Santo Domingo, Baja California Sur, Mexico*, *Environmental Geology*, 45; 350 - 366.
- CONAGUA (2003) *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero del Valle de Guaymas, Estado de Sonora*.
- Custodio, E. y Llamas, R. (1996). *Aguas subterráneas*. *Revista Cidob d'Afers Internacionals*, 45-46. Recuperado desde:  
<http://www.cidob.es/catalan/publicaciones/Afers/45-46llamas.cfm>.
- Nuno, M. y Haie, N. (2001). *Modeling of Rural Usage of Groundwater subject to Saltwater Intrusion*, *First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers Monitoring, Modeling and Management*; 1 -12.
- Osorio, F. (2000). *Estimación de transmisividad en secciones de entrada y salida del flujo subterráneo en la zona de captación de Boca Abierta, Sonora*, Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Sonora.
- Ruiz, J. (2008). *Impacto de la sobreexplotación del acuífero del Valle de Guaymas en la calidad del agua*. Tesina para obtener diploma de Especialidad en Gestión Integrada de Cuencas Hidrológicas. El Colegio de Sonora. Hermosillo, Sonora. \_p.34. Recuperado desde:  
<http://www.colson.edu.mx/Cuencas/Documents/JorgeRuiz-121208.pdf>
- Waterloo Hydrologic, 1997. *Visual Modflow for Windows*, v. 271. Reference manual. Waterloo, Ontario, Canadá.

## **Capítulo X. Diseño y construcción de un colector solar para cocinar**

José Manuel Campoy Salguero, Andrés Othón Pizarro Lerma, Miguel Ángel Bernal Reza y Adolfo Soto Cota  
Dirección de Ingeniería y Tecnología  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [adolfo.soto@itson.edu.mx](mailto:adolfo.soto@itson.edu.mx)

### *Resumen*

La región Sur de Sonora es privilegiada en radiación solar. Existen muchas áreas de aplicación y oportunidades para este recurso energético que no se ha explotado, ni siquiera a pequeña escala. En este estudio se investiga el uso colectores solares para cocinar y se construyen cuatro prototipos con el apoyo de profesores y alumnos de varios programas educativos, incidiendo en las competencias educativas que señalan los perfiles de egreso. Se evaluó el desempeño de los prototipos con una familia de esencia rural y con ligas parentales en tres comunidades del estado de Sonora, una de ellas de Cajeme. Los datos resultantes fueron útiles para redefinir el diseño y proponer un método de transferencia de tecnología que beneficia a la comunidad.

### *Introducción*

Antes los problemas de contaminación y desabasto energético, es muy importante que las regiones busquen soluciones propias y adecuadas a cada condición en particular. Si seguimos basándonos en fuentes convencionales de energía, las cuales son: derrochadoras y con rendimiento muy bajo; contaminantes, lo que conlleva a un desequilibrio térmico y químico del ambiente; sin futuro, por el agotamiento de los recursos y sin posibilidad de recuperación en el corto plazo, el planeta se deteriorará de forma rápida e irreversible (Almanza y Martínez, 2005). El éxito o fracaso bajo estas premisas radica básicamente en la gradual transición de una economía consumista y dependiente de recursos fósiles a una sociedad que base su desarrollo en un adecuado y sostenible consumo donde se empleen energías limpias y renovables. El Sol es una fuente de energía prácticamente inagotable. Los rayos solares inciden en casi todo el planeta. Generan luz y calor en forma limpia y sin contaminantes. Utilizar los rayos solares para generar calor, luz o transformarlos en energía eléctrica es una opción viable

pero que no ha sido aprovechada a gran escala por diversos factores técnicos, sociales y económicos. En (CEES, 1993) se comenta que la forma más razonable de satisfacer una buena parte de las necesidades energéticas de la Humanidad es haciendo uso de la energía solar a pequeña escala.

Los rayos solares inciden sobre el planeta en diferente proporción dependiendo básicamente de la latitud del lugar, época del año, condiciones meteorológicas. Las regiones entre los dos trópicos son las más privilegiadas. México es un país con gran incidencia solar en especial los estados de Sonora, Baja California Sur y Chihuahua. En algunos casos se han medido radiaciones en llegan a 1200 Watts por metro cuadrado (Rincón, 2002). La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación.

Refiriéndonos a la cocción de alimentos por rayos directos del sol, es todavía menor la investigación y aplicación que se realiza en el país. Para analizar este fenómeno se define primero que una estufa solar en un concentrador de rayos solares que tiene por fin calentar y/o cocinar alimentos. Utiliza la acción directa de la radiación solar para calentar alimentos contenidos en recipientes, charolas o sobre superficies por medio de la concentración de rayos solares. Una estufa solar bien diseñada puede alcanzar temperaturas superiores a 110°C, suficientes para cocinar todo tipo de alimentos y realizar casi cualquier tipo de comida. Es una gran alternativa ecológica y económica al no utilizar ningún tipo de combustible (gas, carbón, leña, etc). Entre las desventajas de su uso se encuentra la dependencia en el horario (según la incidencia solar). Obviamente no es posible cocinar de noche o conseguir una alta temperatura al amanecer, al atardecer o en días nublados. Otro punto a considerar es que se tiene que cocinar al intemperie. A esto se puede agregar que frecuentemente se requiere más tiempo para cocinar con respecto a una estufa convencional.

A pesar de ello resulta muy atractivo poder usar los rayos del sol para cocinar (Lawlan, 1979). En diversas culturas y por mucho tiempo se han utilizado. Incluso en países que poseen una gran latitud como Suecia, Dinamarca y Noruega, han utilizado y utilizan hoy día algún tipo de estufas solares. En México como en muchas partes del mundo no se cuentan con políticas claras en cuanto al uso de fuentes alternativas. No se fomenta de forma significativa ni su uso ni su investigación. Además, la escasa demanda de los dispositivos que aprovechen la luz de sol, no permite que crezca una industria alrededor de ellos y por consiguiente se reduce más el interés por la investigación e inversión.

Sin embargo la implantación en México de sistemas que utilicen la radiación solar es una realidad que se incrementa cada día. En todo el país no importa su latitud, es muy común observar en las azoteas y techos colectores solares para calentar agua. En menor escala pero también a la alza se encuentran las estufas solares, principalmente en aplicaciones deportivas, turismo ecológico y rural. En la región sur de Sonora con un clima con gran incidencia solar se tiene un gran potencial de uso. Resulta muy interesante analizar las condiciones que detonen el empleo de estufas y colectores solares en nuestra región. Adaptar un dispositivo solar a la idiosincrasia, usos y costumbres de una región con el objetivo de beneficiar a toda una comunidad es una interesante oportunidad que puede beneficiar a muchas personas en varios lugares. Al mismo tiempo que se pretende un beneficio comunitario y estar en sincronía con los requerimientos de un desarrollo sustentable. ¿Será realmente necesario el empleo de estufas solares? Además, ¿Cuál será el beneficio económico y ecológico en las diferentes microrregiones? Y ¿Cuáles son los factores que maximizan o minimizan las ventajas de usar fuentes alternativas de energía?

Bajo estos justificantes se define la siguiente hipótesis: Es posible diseñar y construir una estufa solar, adecuada a los requerimientos, condiciones, usos y costumbre en la región sur de Sonora. Se deberá cumplir con los niveles de robustez, seguridad y operatividad. El diseño seleccionado y adaptado podrá ser duplicable. La transición hacia la cocción de alimentos por rayos solares no presentará grandes inconvenientes y

traerá ahorro familiar. Será un medio para minimizar el uso de leña u otro combustible, y ayudará al desarrollo sustentable.

El objetivo general de esta investigación es diseñar y construir una estufa solar adecuada para los requerimientos, usos y costumbres de las comunidades del sur de Sonora. Al mismo tiempo se validarán varios modelos de estufas solares. Se realizarán pruebas y se determinará la pertinencia de su uso en nuestra región.

### *Fundamentación teórica*

#### Historia

La primera estufa solar fue inventada en 1767 por Horace de Saussure. Fue uno de los grandes naturalistas de la segunda mitad del siglo XVIII. A pesar de que su pasión fue la botánica, en diversas expediciones a regiones montañosas en Francia, Suiza e Italia, se daba tiempo para construir cajas solares donde se podía “atrapar” la radiación solar. Experimentó y utilizó varias versiones con diferentes materiales. Hizo experimentos con el efecto invernadero y también cocinó con el Sol. Descubrió empíricamente la utilidad de un buen aislamiento. Observó que la radiación solar no depende tanto de la Altitud de un lugar y que la incidencia solar es casi la misma en lo alto y en la base de la montaña. Experimentó con cocinas tipo horno refractario (SCIN, 2002).

Varios científicos del siglo XIX realizaron experimentos con cajas térmicas y obtuvieron resultados positivos. Dentro de la literatura destacan los trabajos con hornos solares del astrónomo Sir John Herschel quien documentó su construcción y su forma de usarse. En una expedición al cabo de buena esperanza en Sudáfrica en 1830, construyó un horno solar con un pequeño contenedor de caoba pintado de negro por dentro que utilizaba ventana de vidrio plano doble y arena como aislante. Sus escritos además de mostrar interés científico detallan un gusto culinario, como sus notas indican: estas temperaturas (arriba de 115°C) sobrepasa la temperatura para hervir agua, algunos experimentos divertidos fueron realizados exponiendo huevos, carne, etcétera, al calor dentro de la caja. Todos los alimentos después de un tiempo moderado de exposición, se

encontraban bien cocidos. En otra ocasión, una gran porción de carne fue cocinada y comida con gran deleite por un grupo que observaba el desempeño de la caja solar.

En *Cocinando con el sol* (SCIN, 2002) se comentan también las historias de Sir John, que intrigaron al astrofísico americano Samuel Pierpont Langley quien después sería cabeza del instituto Smithsonian. Langley estuvo interesado en la energía solar y el efecto invernadero desde su niñez. En 1881, realizó un viaje al monte Whitney para estudiar los efectos de la energía solar. Relata sus experiencias en un artículo publicado en *Nature*: a medida que ascendemos lentamente...y en la superficie la temperatura se acerca al punto de congelamiento, la temperatura en el contenedor de cobre dentro de la caja térmica está arriba del punto ebullición del agua. Ciertamente podemos hervir agua con los rayos solares aún sobre superficies cubiertas de hielo y nieve.

De Saussure, Herschel, Langley y muchos más demostraron que temperaturas superiores al punto de ebullición del agua pueden ser producidas dentro una caja con ventana de vidrio. Ellos visualizaron que la caja caliente puede tener importantes aplicaciones prácticas. Como de Saussure puntualizó, “Algún día alguna utilidad tendrá este dispositivo...es realmente barato y fácil de hacer”. De hecho su modesto estimado es sobrepasado, ya que la caja solar llegó a ser el prototipo de los colectores solares de los siglos XIX y XX. Colectores que fueron y han sido capaces de suministrar agua caliente y calor en hogares e industrial.

El desarrollo significativo de las cocinas solares se inicia a mediados del siglo XX durante la década de los años cincuenta. Durante este período se desarrollan construcciones de tipo comunitaria en diverso lugares del mundo, principalmente en India, China y África. Destacan los desarrollos de hornos solares en la India utilizando la técnica de la pirámide invertida. Estos hornos tuvieron una notable aceptación en las zonas rurales de este país con decenas de miles de ellos. El empleo de cocinas solares adquiere otro impulso durante la crisis energética de 1973. Durante este período y hasta la fecha diversas organizaciones han contribuido al desarrollo de estos dispositivos. Destacan los esfuerzos de las Naciones Unidas y a nivel no gubernamental destaca el esfuerzo de la organización Solar Cooking y de Green Peace. En muchos lugares la

estufa solar se ha convertido en una herramienta de independencia energética, salud y sustentabilidad.

### Principios físicos básicos de los concentradores solares

Los hornos y estufas solares son artefactos que permiten cocinar alimentos usando el Sol como fuente de energía. Se dividen en dos familias: estufas de concentración y horno. El funcionamiento de los hornos solares y las estufas de concentración se basan principalmente en algunos principios físicos. A continuación se mencionan algunos conceptos:

*Estufa de concentración.* Se basan en concentración de la radiación solar en un punto, típicamente a través de un reflector parabólico. En dicho punto se coloca la olla que cocinará los alimentos. Generan altas temperaturas y permiten freír alimentos o hervir agua. Es necesario que el usuario tenga los debidos cuidados y usar el tipo de protección necesarios.

*Horno o caja.* El horno o caja solar es una caja térmicamente aislada, diseñada para capturar la energía solar y mantener caliente su interior. Los materiales generalmente son de baja conducción de calor, lo que reduce el riesgo de quemaduras a los usuarios y evita la posibilidad de incendio tanto de la cocina como en el lugar en el que se utiliza. Además los alimentos no se queman ni se pasan conservando así su sabor y valor nutritivo.

*Efecto invernadero.* Este efecto permite aumentar el calor dentro del horno. Es el resultado del calor en espacios cerrados en los que el sol incide a través de un material transparente como el cristal o el plástico. La luz visible pasa fácilmente a través del cristal y es absorbida y reflejada por los materiales que estén en el espacio cerrado. La energía de la luz que es absorbida principalmente por los metales se convierte en energía calorífica, la cual tiene una mayor longitud de onda. La mayoría de esta energía radiante, a causa de esta mayor longitud de onda, no puede atravesar el cristal y por consiguiente es atrapada en el interior del espacio cerrado. La luz reflejada, o se absorbe por los otros materiales en el espacio o atraviesa el cristal si no cambia su longitud de onda.

*Conducción.* La segunda ley de la termodinámica plantea que el calor siempre viaja de lo caliente a lo frío. El calor dentro de una cocina solar se pierde fundamentalmente por conducción, radiación y convección. El calor dentro de una cocina solar se pierde cuando viaja a través de las moléculas de todo el material de la caja hacia el aire fuera de la caja. Es por esto, que en todo diseño tradicional de un horno solar se usa un material llamado aislante térmico (como el corcho).

*Radiación.* Lo que está tibio o caliente despiden olas de calor, o irradia calor a su alrededor. Estas olas de calor se irradian de los objetos calientes a través del aire o el espacio. La mayor parte del calor radiante que se despiden de las ollas calientes dentro de una cocina solar se refleja de vuelta a las ollas. Aunque los vidrios transparentes atrapan la mayoría del calor radiante, un poco escapa directamente a través del vidrio. El cristal atrapa el calor radiante mejor que la mayoría de los plásticos. Los cuerpos absorben una parte de la radiación y reflejan el resto dependiendo sus características superficiales. El color que absorbe más luz y energía radiante que incide sobre él, es el color negro. Teóricamente, un cuerpo que no absorbe nada de radiación es un espejo perfecto, y un cuerpo que absorbe toda la radiación es un cuerpo negro perfecto. Los cuerpos que absorben menos radiación son superficies especulares y los que absorben mayor radiación son superficies de color negro mate.

*Convección.* Las moléculas de aire pueden entrar y salir de la caja a través de huecos o imperfecciones en la construcción, o al abrir la puerta; así, el aire caliente escapa del horno. Es por esto que si se quiere reducir las pérdidas de calor por este fenómeno se debe de fabricar un horno hermético y abrir la puerta lo menos posible.

*Reflectores.* Cuanta mayor cantidad de luz solar entre por la caja, mayor será la cantidad de energía dentro de ella, es por esto que generalmente se usan reflectores externos para aumentar la cantidad de luz solar incidente.

### *Metodología*

La región sur Sonora es privilegiada en radiación solar con pocos días nublados al año. El desabasto energético es una realidad y existen problemas de deforestación por

el uso de leña. Los principales atractivos de esta investigación son el desconocimiento de la situación real de desabasto energético en diversos lugares de la región y el análisis de alternativas de las soluciones para solventar las posibles necesidades.

El procedimiento realizado es el siguiente:

1. Primero se realizará una investigación de tipo descriptiva cualitativa donde se definieron las posibles necesidades de los usuarios.
2. Después, se siguió una metodología clásica de diseño, donde a partir de la recolección de datos y un estudio exploratorio, se crean modelos prototipos y se construyen.
3. Posteriormente, se seleccionó el conjunto de características, usos y costumbres en la preparación de alimentos en Sonora.
4. Y como sujetos de estudio se proponen tres familias (sujetos de estudios, en los municipios de Álamos, Navojoa y Cajeme). Ya que la investigación de campo se realizó bajo cualidades dominantes de muestras pequeñas de sujetos.
5. En una segunda fase, con la interpretación de los datos surgieron las primeras preliminares del diseño y se elaboraron los prototipos.
6. Con esos insumos, se deciden los tipos de modelos a evaluar y diseñar, optando por cuatro tipos diferentes de diseño: 1) Estufa con panel en doblés, 2) Estufa paraboloide de superficies planas, 3) Caja solar con alas reflejantes, y 4) Estufa paraboloide.

### *Resultados y discusión*

A continuación se muestran los resultados de los cuatro prototipos que se desarrollaron:

#### Estufa con panel en doblés

En la literatura se encontró este diseño de estufa en doblés. Dentro de los cálculos realizados se determinó que esta estufa podría alcanzar unos 75 °C suficiente para cocer algunos alimentos (tomates, papas, cebollas y algunas carnes suaves). Dentro

del plan de transferencia de tecnología esta estufa es de las más fáciles de implementar y capacitar para su construcción. Puede ser perfectamente empleada para pasteurizar agua y alimentos. En la figura 2. Se observa un prototipo terminado.

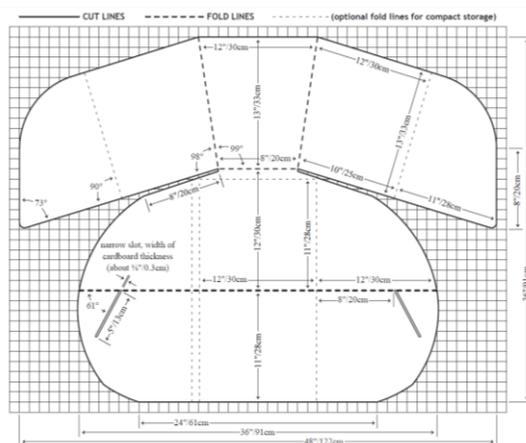


Figura 1. Template de los paneles (estufa 1).



Figura 2. Estufa en doblés terminada.

### Estufa paraboloide de superficies planas

Esta estufa está basada en los diseño de la estufa solar de Parvati y la estufa de Teong H Tan. Nuestro diseño propuesto tiene algunas pequeñas variantes principalmente en el desplazamiento del centro focal (ver Figura 3), en el tamaño final y en la base donde se colocan los alimentos. En las Figuras 4 a la 6 se muestran los diseños y cálculos empleados. Básicamente para la construcción, se tomó una hoja rectangular de cartón de 24" x 48" se dibujó un medio círculo de 24 pulgadas de radio, al cual se le

pegó el material reflejante. Posteriormente se plasmó el molde de un solo lado, 12 veces uno tras otro, se hizo el corte necesario para luego doblar la parte interna un ángulo de 135 grados y la parte intermedia a 165 grados con la parte externa, enseguida se doblaron y se unieron con cinta adhesiva. Ver Figuras 5, 6 y 7.

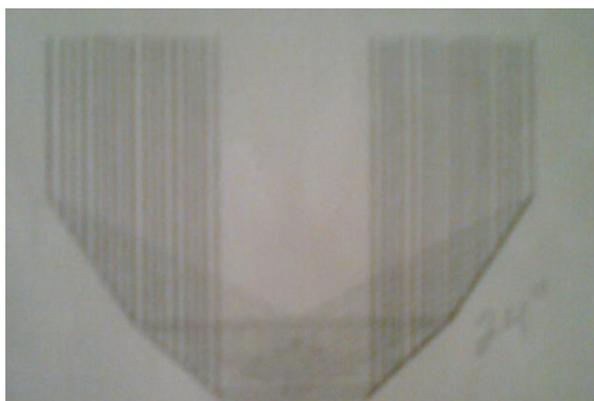


Figura 3. Desplazamiento del foco solar en la H estufa paraboloide plana.

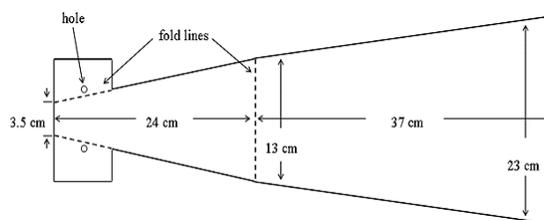


Figura 4. Ala sencilla de la estufa T Tan.

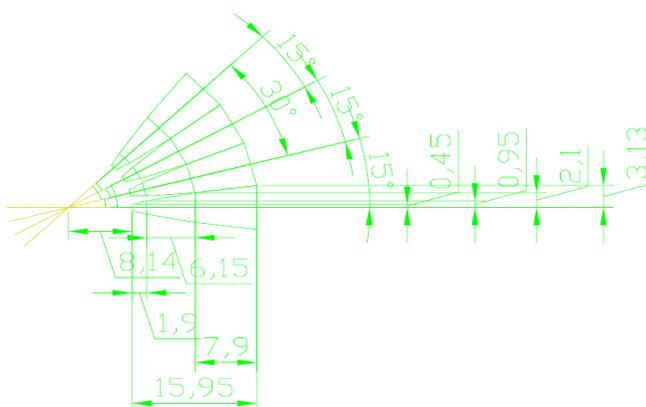


Figura 5. Diseño propuesto derivado de la estufa Parvati.

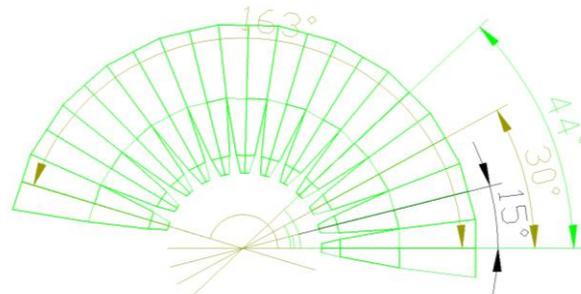


Figura 6. Interconexión de planos de la estufa paraboloide propuesta.



Figura 7. Construcción del panel reflejante estufa paraboloide de plana.

### Caja solar con alas reflejantes

Esta estufa es una modificación de la caja solar simple que utiliza el efecto invernadero para concentrar calor dentro de una caja con tapa de vidrio. En las figura 8 y 9 se pueden observar el dibujo esquemático y las partes que la componen.

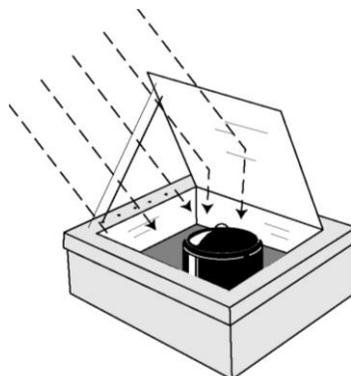


Figura 8. Caja solar.

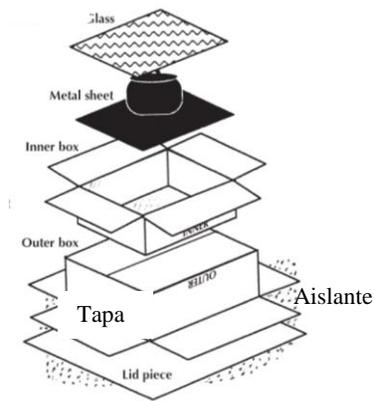


Figura 9. Partes principales de la caja solar.

A este diseño de caja solar se propuso agregarle cuatro paneles reflejantes para incrementar la incidencia de los rayos solares dentro de la caja. En la Figura 10 se pueden observar diferentes momentos en la construcción de la estufa solar. En la Figura 11 se muestra un diseño final.



Figura 10. Panel reflejante, estructura y ensamble del material aislante y reflejante.



Figura 11. Caja solar con planos paraboloide, vista frontal.

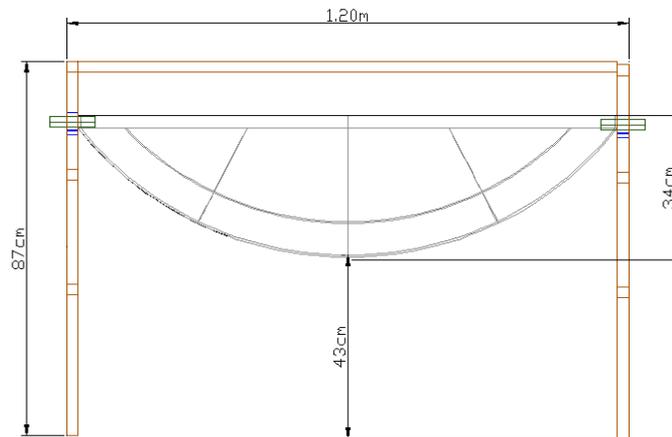


Figura 12. Diseño de la estufa solar reflejante.

### Estufa paraboloide

La intención del diseño es aprovechar la máxima la radiación solar sin salirse del concepto de estufa doméstica. A esta estufa se le ha dedicado más tiempo en la planificación y el diseño. La meta es alcanzar los 110 °C suficientes para cocinar cualquier tipo de alimento en un tiempo mucho más corto que en las estufas anteriores. En el diseño de esta estufa se consideró detalles de peso, robustez mecánica, movilidad, facilidad de uso y manejo. La estufa completa puede ser trasladada por un vehículo tipo carga ligera. Las dimensiones de esta estufa pueden verse en la figuras 12 y 13. Las figuras 14 y 16 muestran los avances en la construcción de esta estufa y pruebas realizadas.

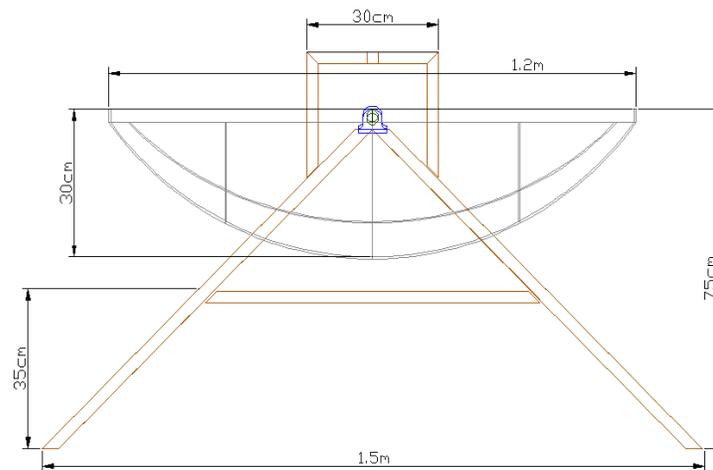


Figura 13. Diseño propuesto de la estufa solar paraboloide vista lateral.



Figura 14. Aro base de la estufa solar paraboloide y estructura terminada.



Figura 15. Colocación de colectores y rodamientos.



Figura 16. Estufa solar en operación.

### *Conclusión*

El uso de otras estufas prototipo nos permitirá tener más opciones para el usuario final. Al realizar los prototipos y las pruebas se adquiere una visión más clara de la forma como se pueden mejorar cada vez más los diseños y se cumple con el objetivo del proyecto. Como muestra de lo anterior se tienen los incrementos de la temperatura conseguida en cada mejora realizada. Al mismo tiempo se espera tener una visión más clara de las necesidades reales de los usuarios. Con este proyecto además de proporcionar una opción para cocinar, es también un indicativo de la capacidad que tienen las comunidades de la región para adaptarse a los cambios que inevitablemente traerá el desabasto de los combustibles tradicionales.

### *Referencias*

- Almanza S. R. et Martínez C. I. (2005). Las fuentes de energía, el consumo actual y las posibilidades de futuro. *La revista solar*, 55, 4-7.
- CEES (1993). *La energía solar, aplicaciones prácticas*. Promotora general de estudios, 147pág. Centro de estudios de la energía solar: Sevilla, España.
- Lawlan I. (1979). Posibilidades de aprovechamiento de energía solar para cocinar en las zonas de desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Rincón, E. (2002). *Las Fuentes renovables de energía como base del desarrollo sostenible en México*. Reporte ANES.
- Solar Cookers International Network, SCIN (2002). *History of solar cooking*. Take originally from *State of the Art of Solar Cooking* by Dr. Barbara Knudson. [http://solarcooking.wikia.com/wiki/History\\_of\\_solar\\_cooking](http://solarcooking.wikia.com/wiki/History_of_solar_cooking)

## **Capítulo XI. Verificación de las condiciones de seguridad e higiene en una Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) de PEMEX Refinación**

René Daniel Fornés Rivera<sup>1</sup>, Moisés Ricardo Larios Ibarra<sup>1</sup>, Adolfo Cano Carrasco<sup>1</sup>, Rogelio Antonio Serrano Valenzuela<sup>2</sup> y Francisco Javier Romero Pardini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Industrial

<sup>2</sup>Ingeniero Industrial y de Sistemas

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [rene.fornes@itson.edu.mx](mailto:rene.fornes@itson.edu.mx)

### *Resumen*

La investigación se desarrolló en la Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) de Petróleos Mexicanos (PEMEX) refinación de Cd. Obregón. En su proceso se realizan actividades de recepción, almacenamiento y distribución de combustibles Pemex Magna, Pemex Premium y Pemex Diésel. El trabajo aborda lo relacionado a la verificación de la normatividad aplicable por la Secretaria de Trabajo y Previsión Social (STPS) en materia de seguridad e higiene en la TAR, donde existen situaciones riesgosas durante sus operaciones normales, debido a la alta cantidad de combustible almacenado por lo que es de vital interés el procurar y preservar el bienestar de los trabajadores. Por tal motivo surge la necesidad de desarrollar una verificación de la situación actual respecto a la normatividad aplicable por STPS que permita mantener un control en materia de seguridad e higiene, mediante la determinación de las condiciones adecuadas que deben existir en el área laboral en base al conocimiento del nivel de cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). La metodología empleada fue: conocer el área bajo estudio, obtener normas que aplican, aplicar listas de verificación, determinar porcentaje de cumplimiento, identificar áreas de oportunidad, elaborar propuestas de seguridad e higiene. Como resultado se obtuvo que el nivel de cumplimiento en seguridad se cumplió en un 97.27%, respecto a salud se obtuvo un 96.67%, por último en organización un 92.13%. Se cumplió el objetivo, ya que se logró determinar el nivel de cumplimiento de la TAR, Cd. Obregón.

### *Introducción*

Desde el inicio de la historia, el hombre ha hecho de su instinto de conservación un arma para la defensa de cualquier lesión corporal al grado que llegó a ser de carácter instintivo-ofensivo, reflejando un esfuerzo personal más que un sistema organizado, es por ello que surge la necesidad de la seguridad industrial (Púrpura, 2006).

Antes del siglo XVII no existían estructuras industriales, las principales actividades laborales eran artesanales y se centraban en la agricultura y la ganadería. Se presentaban accidentes fatales, un sin número de mutilaciones y enfermedades, alcanzando niveles desproporcionados. Es en esta etapa cuando los trabajadores realizan esfuerzos personales de carácter defensivo y no preventivo con el fin de evitar lesiones corporales, es decir desarrollan su instinto de conservación como defensa a las condiciones laborales adversas. Es de esta manera que nace la seguridad industrial, reflejada simplemente como un esfuerzo individual por parte de la comunidad laboral (Ramírez, 2005).

El mundo del trabajo ha progresado en muchos frentes, pero las muertes, los accidentes y las enfermedades aún son muy preocupantes. Es errónea la idea de que el accidente y la enfermedad son gajes del oficio, la prevención funciona, es por ello la importancia de una cultura preventiva de seguridad que incluya los valores, sistemas y prácticas de gestión además de los principios participativos y los comportamientos laborales propicios a la creación de un entorno laboral sano y seguro (OIT, 2005).

Sin importar cuál sea la gravedad de los accidentes o de las enfermedades de trabajo se ven afectadas la eficiencia y la efectividad, debido a que provienen de la falta de control sobre el obrero, materiales, procesos y el ambiente. Por otra parte se generan costos directos: indemnizaciones, seguros y servicio médico adicional; y costos indirectos: tiempo perdido por los trabajadores, transporte, equipo dañado y gastos generales (Janania, 2007).

PEMEX es una empresa mexicana dedicada a la extracción, distribución y comercialización del petróleo, es considerada una de las empresas más grandes y ricas del mundo. PEMEX fue fundada en el año 1938 en la Ciudad de México, Distrito Federal, sede central de la misma donde opera y controla sus diferentes bases petrolíferas (PEMEX, 2009).

Actualmente la TAR cuenta 72 trabajadores y se encuentra ubicada por la Carretera Federal No 15 km 1,858.6., en el tramo Ciudad Obregón – Esperanza. Sus instalaciones cubren un área aproximada de 84,700 m<sup>2</sup>. Esta terminal se encarga de

recibir productos petrolíferos (Gasolina Pemex Magna, Gasolina Pemex Premium y Pemex Diésel) en la zona de Cd. Obregón y el municipio de Cajeme. Su zona de influencia comprende los municipios de: Rosario, Benito Juárez, Guaymas, San Ignacio río muerto, Navojoa, Fundición y Yécora, Sonora, proporcionando a estos lugares de los diferentes combustibles que la terminal maneja (TAR, 2012).

Las actividades que se desarrollan en estas instalaciones son las siguientes: recibo de combustibles, descarga de auto tanques, almacenamiento, bombeo de combustibles y llenado de auto tanques. Normalmente, los productos que maneja la TAR Ciudad Obregón se reciben a través de un poliducto de 12 pulgadas que tiene su origen en la Terminal Marítima de PEMEX en el Puerto de Guaymas. En ocasiones esporádicas, la TAR Ciudad Obregón recibe productos por medio de auto tanques, para lo cual dispone de cuatro posiciones de descargaderos TAR, (2012). Las cantidades de almacenamiento en la terminal de los combustibles mencionados son las siguientes: Pemex Magna: 65 000 barriles (10, 335,000 litros), Pemex Premium: 30 000 barriles (4, 770,000 litros) y Pemex Diésel: 80 000 barriles (12, 720,000 litros). Dicha cantidad se le denomina como cantidad de reporte, la cual es la mínima cantidad de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transportes dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionará un daño. Lo moderadamente normal es de 10,000 barriles (1, 590,000 litros), por lo que la TAR de Cd. Obregón se considera como una instalación de alto riesgo SEMARNAT, (2011). Para cumplir con lo anterior se llevan a cabo auditorias de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional, Protección Ambiental y Ahorro de Energía en todas las instalaciones de PEMEX. Para evitar accidentes dentro de las empresas, la STPS establece que todo centro de trabajo debe cumplir con las normas referentes al tema, y la mejor forma de dar cumplimiento a ellas es por medio de un programa de seguridad e higiene, donde se detallan las actividades a realizar para contar con un medio ambiente de trabajo seguro y saludable (STPS, 2010).

Por lo anterior la TAR de PEMEX refinación ha mostrado gran interés en procurar y preservar el bienestar de los trabajadores siendo necesario para ello el apego a los requisitos establecidos en las NOM emitidas por la STPS. La TAR no tiene identificado el nivel de cumplimiento de las NOM emitidas por parte de la STPS, que establecen cuáles son las condiciones adecuadas que deben existir en el área de trabajo, por tal motivo esta investigación persigue el objetivo de verificar la situación actual en la TAR respecto a la normatividad aplicable por parte de la STPS que permita mantener un control en materia de seguridad e higiene.

### *Fundamentación teórica*

A lo largo de la historia el hombre ha experimentado y padecido el accidente, bajo diversas formas y circunstancias. Al desempeñar las actividades productivas es evidente que el riesgo atenta contra la salud y el bienestar; conforme ha ido incrementando la complejidad de estas, se han multiplicado los riesgos laborales, produciendo así numerosos accidentes y enfermedades. Sin embargo, pese a la importancia de mantener condiciones saludables y seguras, el reconocimiento de dichos factores es un hecho muy reciente (Hernández, Fernández & Malfavón, 2004).

Actualmente, el mundo está inmerso en un proceso continuo de cambios, donde las empresas deben ser competitivas para mantenerse en el mercado y, para ello, deben garantizar no solo productos y servicios de calidad, sino también, deben contar con procesos de producción promuevan el desarrollo sano y seguro de su personal. Aunado a lo anterior, es importante que las empresas presten atención en evitar incurrir en altos costos relativos a la falta de seguridad, ya que estos se ven reflejados directamente en su nivel de competitividad (Chinchilla, 2002).

En lo que se respecta a seguridad, esta se refiere a todas las actividades que estén encaminadas a eliminar o reducir los riesgos causantes de accidentes en el personal, mientras que el término higiene va encaminado a prevenir y proteger de la enfermedad laboral (González, González & Mateo, 2006).

En el 2007 Cortés menciona que la seguridad actúa analizando y controlando los riesgos originados por los factores mecánicos ambientales; pareciera que ésta por si sola es muy completa, sin embargo no hay que perder de vista la relación que mantiene con respecto a lo que a higiene se refiere. La higiene consiste en la aplicación racional y con inventiva de técnicas que tienen por objeto el reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales originados en el lugar de trabajo, que puedan causar enfermedades, perjuicios a la salud e incomodidades entre los trabajadores o miembros de una comunidad. Se puede establecer que el término de seguridad e higiene se refiere al conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos destinados a localizar, evaluar, controlar y prevenir las causas de los riesgos de trabajo a que están expuestos los trabajadores en el ejercicio o con motivo de su actividad laboral, marcándose como objetivo salvaguardar su vida, preservar su salud y su integridad (Hernández et al., 2004).

Los requerimientos de seguridad e higiene son establecidos por normas cuya finalidad es la prevención y la protección en lo que se refiere a atención de factores de riesgo a los que pueden estar expuestos los trabajadores STPS, (2011). Para que exista prevención es importante que tanto la alta gerencia como el personal encargado de los programas de seguridad e higiene velen por el cumplimiento de los proceso de identificación de riesgos y condiciones inseguras (Janania, 2007).

Complementando, la protección de la seguridad y salud del personal es un proceso complejo que requiere de la participación de todos los integrantes de la cadena de valor de una organización, con el fin de realizar intervenciones sistémicas y multidisciplinarias que logren dar respuesta a los problemas que aquejan a los grupos laborales (Rodríguez, 2010).

### *Metodología*

El objeto de estudio para este proyecto son las instalaciones de la Terminal de Almacenamiento y Reparto (TAR) de PEMEX refinación de Cd. Obregón, esta comprende las instalaciones, la maquinaria, la herramienta, el equipo de protección

personal, equipo de primeros auxilios, equipo contra incendios, así como el personal y los procedimientos utilizados para el proceso el recibo, almacenaje y distribución del combustible.

Los materiales que se utilizaron para el desarrollo del proyecto fueron el asistente para la identificación de las NOM de seguridad y salud en el trabajo disponible en el portal de servicios electrónicos de la STPS, las listas de verificación de la STPS, las NOM de la STPS, correspondientes a los temas de seguridad, organización y salud, entre las cuales se encuentran: NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales e instalaciones; NOM-002-STPS-2010, Prevención y protección contra incendios; NOM-004-STPS-1999, Sistemas y dispositivos de seguridad en maquinaria; NOM-005-STPS-1998, Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas; NOM-006-STPS-2000, Manejo y almacenamiento de materiales; NOM-009-STPS-2011, Trabajos en altura; NOM-020-STPS-2011, Recipientes a presión, criogénicos y generadores de vapor; NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática; NOM-027-STPS-2008, Actividades de soldadura y corte; NOM-029-STPS-2011, Mantenimiento de instalaciones eléctricas; NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas; NOM-025-STPS-2008, Iluminación; NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal; NOM-019-STPS-2011, Comisiones de seguridad e higiene; NOM-021-STPS-1994, Informes sobre riesgos de trabajo; NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad; y NOM-030-STPS-2009, Servicios preventivos de seguridad y salud. Los pasos que se llevaron a cabo para lograr el objetivo de la investigación fueron los siguientes:

Conocer el área bajo estudio: se realizó un recorrido por las instalaciones de la (TAR) con el objetivo de conocer el área, específicamente el equipo y maquinaria, el personal, los materiales utilizados, los extintores, la señalización, las rutas de evacuación, el equipo de protección y el equipo de primeros auxilios, así como comprender el proceso principal.

Determinar qué normas de seguridad e higiene aplican: mediante el apoyo del asistente para la identificación de las NOM de seguridad y salud en el trabajo disponible en el portal de servicios electrónicos de la STPS, se evaluó la normatividad aplicable a la

(TAR), en base a las actividades que ahí se desempeñan. Aplicar listas de verificación: se realizó un recorrido de evaluación por las instalaciones de la (TAR) utilizando dichas listas de verificación de seguridad e higiene, obteniendo los resultados mediante la observación de maquinaria, edificios, personal y equipo; así como entrevistas no estructuradas con el personal; estas actividades realizadas dieron como producto las listas de verificación ya contestadas. Determinar porcentajes de cumplimientos: una vez que se aplicaron las listas de verificación se procedió a pasar la información a la plantilla digital de las listas de verificación, luego se acceso al sitio web de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, seguido de esto se adjuntó la plantilla al Módulo de Evaluación del cumplimiento de la normatividad de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Se obtuvo una lista de las normas aplicables a la empresa junto con el porcentaje de cumplimiento de cada una de ellas y la sumatoria total de los porcentajes de cumplimiento de las normas. Identificar áreas de oportunidad: Se examinaron los porcentajes de cada norma para luego revisar los puntos que se cumplieron total y parcialmente así como los que no se cumplieron, para identificar las áreas de oportunidad que pueden mejorarse. Con esto se obtuvo una lista de los puntos inconformes y los que se cumplen parcialmente de cada norma. Elaborar propuestas de seguridad e higiene: Con base en los incumplimientos de las normas y en los cumplimientos parciales de las mismas, se llevó a cabo una serie de propuestas de seguridad e higiene. Se obtuvo una lista de las propuestas que surgieron con la información de la listas de verificación.

### *Resultados y discusión*

Una vez realizado el recorrido por las instalaciones de la (TAR), se identificaron todas las áreas que las integran, así como el equipo y la maquinaria utilizados para el proceso de almacenamiento y reparto, los distintos tipos de señalización, los equipos contra incendio, el equipo de primeros auxilios y el equipo de protección personal disponible.

Por otra parte, al realizar la investigación sobre las NOM en materia de seguridad e higiene aplicables a la (TAR), se determinó que sólo aplican 17 normas de la STPS, con las cuales se realizó un listado de verificación y posteriormente se aplicó, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Lista de normas aplicables a la organización.

<b>Categoría</b>	<b>Norma</b>	<b>Concepto</b>
<b>Seguridad</b>	NOM-001-STPS-2008	Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo.
	NOM-002-STPS-2010	Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
	NOM-004-STPS-1999	Sistemas de protección y dispositivos de seguridad de la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.
	NOM-005-STPS-1998	Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
	NOM-006-STPS-2000	Condiciones y procedimientos de seguridad en el manejo y almacenamiento de materiales.
	NOM-009-STPS-2011	Condiciones de seguridad para realizar Trabajos en altura.
	NOM-020-STPS-2011	Condiciones de seguridad y funcionamiento de recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas.
	NOM-022-STPS-2008	Condiciones de seguridad respecto a electricidad estática en los centros de trabajo.
	NOM-027-STPS-2008	Condiciones de seguridad e higiene actividades de soldadura y corte.
	NOM-029-STPS-2011	Condiciones de seguridad en operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo.
<b>Salud</b>	NOM-015-STPS-2001.	Condiciones de seguridad e higiene en condiciones térmicas elevadas o abatidas.
	NOM-025-STPS-2008.	Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
<b>Organización</b>	NOM-019-STPS-2011	Constitución, integración y organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene.
	NOM-021-STPS-1994	Informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.
	NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
	NOM-030-STPS-2009	Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo.

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Una vez identificadas las normas que aplican a la empresa se descargaron las plantillas correspondientes a cada norma (ver Figura 1), del módulo de evaluación de cumplimiento de la normatividad de seguridad y salud en el trabajo, las cuales tenían el formato siguiente:

NOM-001-STPS-2009 Seguridad						
Edificios, locales e instalaciones						
Indicador	Tipo de verificación	Criterio de aceptación	Tipo de	Cumplimient	% de	
			Avanc	o	Avanc	
e						
<b>1 Programas</b>						
1.1	¿Cuenta con un programa anual de mantenimiento preventivo o correctivo del sistema de ventilación artificial, a fin de que esté en condiciones de uso?	1 Documental	2.1	¿Cuenta con el programa o programas requeridos?	A	
<b>2 Medidas de seguridad</b>						
<b>2.1 Medidas de seguridad generales</b>						
2.1.1	¿Se conservan las instalaciones del centro de trabajo en condiciones seguras para que no representen riesgos?	4 Física	4.2.1	¿Están instauradas las medidas de seguridad que refiere el indicador?	A	
2.1.2	¿Se encuentran delimitadas con barandales, con cualquier elemento estructural, con franjas amarillas pintadas o adheridas al piso de al menos 5 centímetros de ancho, o por una distancia de separación física las áreas del centro de trabajo, de tal manera que se disponga de espacios seguros para la realización de las	4 Física	4.2.2	¿Están instauradas las medidas de seguridad que refiere el indicador, de acuerdo con las especificaciones previstas por el indicador?	C	

Figura 1. Formato de listas de verificación aplicadas.

Fuente: STPS, 2010. Nota: Se muestra solo una parte.

Al vaciar la información en la plantilla digital de las listas de verificación y después de adjuntar la plantilla en el Módulo de Evaluación del cumplimiento de la normatividad de Seguridad y Salud en el trabajo. Se obtuvo la tabla 2 con el porcentaje de cumplimiento de las normas aplicables a la empresa y el porcentaje de cumplimiento de cada norma respectivamente.

Tabla 2. Porcentaje de cumplimiento normativo.

NOM	Puntuación	Cumplimiento
<b>Seguridad</b>	<b>2419.50</b>	<b>97.27</b>
NOM-001 Edificios, locales e instalaciones	197.50	81.44%
NOM-002 Prevención y protección contra incendios	392.50	100.00%
NOM-004 Sistemas y dispositivos de seguridad en maquinaria	100.00	100.00%
NOM-005 Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas	182.50	100.00%
NOM-006 Manejo y almacenamiento de materiales	195.00	100.00%
NOM-009 Trabajos en altura	502.50	100.00%
NOM-020 Recipientes sujetos a presión y calderas	140.00	90.32%
NOM-022 Electricidad estática	155.00	100.00%
NOM-027 Soldadura y corte	190.00	100.00%
NOM-029 Mantenimiento de instalaciones eléctricas	364.50	97.85%
<b>Salud</b>	<b>145.00</b>	<b>96.67</b>
NOM-015 Condiciones térmicas elevadas o abatidas	15.00	75.00%
NOM-025 Iluminación	130.00	100.00%
<b>Organización</b>	<b>702.50</b>	<b>92.13</b>
NOM-017 Equipo de protección personal	77.50	100.00%
NOM-019 Comisiones de seguridad e higiene	310.00	100.00%
NOM-021 Informes sobre riesgos de trabajo	30.00	100.00%
NOM-026 Colores y señales de seguridad	192.50	76.24%
NOM-030 Servicios preventivos de seguridad y salud	92.50	100.00%

En la tabla anterior se puede observar el nivel de cumplimiento de cada norma, en lo referente a seguridad se cumplió en un 97.27%, respecto a las normas de salud se obtuvo una calificación del 96.67%, por último en las normas referentes a la organización el puntaje obtenido fue de un 92.13% de cumplimiento.

Una vez que se obtuvieron los porcentajes de cumplimiento de cada norma se procedió a hacer una tabla con los puntos inconformes de cada norma, el formato que se realizó es el que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Tabla de puntos inconformes

NOM-020 Recipientes sujetos a presión y calderas			
Documental	4.7.2	¿Considera para la demostración de que los dispositivos de relevo de presión de los equipos se encuentran en condiciones de operación, que: el propio equipo?	Seguridad
Documental	4.7.3	¿Considera para comprobar el funcionamiento del dispositivo principal de relevo de presión, los criterios siguientes: Que la presión de calibración es mayor a la presión de operación del equipo?	Seguridad
NOM-029 Mantenimiento de instalaciones eléctricas			
Documental	3.1.2	¿Cuenta el centro de trabajo con procedimientos para el uso, revisión, reposición, limpieza, limitaciones, resguardo y disposición final del equipo de protección personal, basados en la información del fabricante, y de conformidad con lo que señala la NOM-017-STPS-2008, o las que la sustituyan?	Seguridad

Fuente: Elaboración propia.

Después de identificar los puntos inconformes correspondiente a cada norma que se aplicó, se establecieron propuestas de mejora para la TAR Cd. Obregón. Estas propuestas son acciones correctivas que deben de aplicarse en las situaciones no conformes respecto a las normas de seguridad e higiene como: Contar con nuevos equipos más certeros y exactos para medir la presión y Contar con el equipo de protección personal conforme lo dicta el fabricante para mejor seguridad con el trabajador

Es importante que se haya realizado la verificación de seguridad e higiene, ya que, como menciona Hernández et al. (2004), y STPS (2010) los trabajadores están

expuestos a situaciones riesgosas por lo que se debe buscar salvaguardar su vida, preservar su salud y su integridad. De igual forma, es necesario corregir las situaciones detectadas, que estén encaminadas a eliminar o reducir los riesgos causantes de accidentes y controlando los riesgos originados por los factores ambientales debido a que, según Chinchilla (2002), González, et al., (2006) y Cortés (2007) estas representan la causa principal de los accidentes laborales, y por otra parte estos ocasionan que las empresas pierden competitividad al tener que incurrir en altos costos para atenderlos. Complementando lo anterior, Janania (2007) opina que tanto la eficiencia y la efectividad se ven afectadas por tales situaciones, debido a que provienen de la falta de control sobre el obrero, materiales, procesos y el ambiente. De igual forma, Rodríguez (2010) y Janania (2007), argumentan que el éxito de las medidas propuestas se encuentra ligado a la participación registrada por parte de todo el personal, debido a que este será el principal beneficiado con ellas; por lo cual, como lo propone OIT (2005) es necesario que se trabaje en conjunto en busca de la cultura de prevención. Pese a que el reconocimiento de las situaciones inseguras es un hecho reciente, de acuerdo con Hernández et al., (2004), toda empresa debe mantener un control sobre los factores de riesgo que puedan atentar contra la integridad de sus trabajadores.

### *Conclusiones*

Respecto al análisis de información obtenida mediante la implementación de las listas de verificación en la (TAR), se identificó que existen áreas de oportunidad que deben ser atendidas si se quiere cumplir con la normatividad correspondiente. En términos generales, las instalaciones cumplen en su mayoría con lo solicitado, se cuenta con el equipo de protección indispensable y tanto la maquinaria como el equipo se encuentran bajo un control específico de operación y mantenimiento. Por lo consiguiente se puede determinar que se alcanzó satisfactoriamente el objetivo fijado, mismo que consistía en verificar la situación actual respecto a las normas aplicables por parte de la STPS, y detectar irregularidades para generar propuestas de solución como medidas a tomar con el fin de mantener un control en materia de seguridad e higiene.

*Referencias*

- Chinchilla, R. (2002). *Salud y Seguridad en el Trabajo*. Costa Rica: EUNED
- Cortés, J. M. (2007). *Seguridad e Higiene del Trabajo: Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales*. España: Tébar, R.L.
- González, A., González, D., & Mateo, P. (2006). *Manual para el Técnico en Prevención de Riesgos Laborales*. España: Fundación Confemetal.
- Hernández, A., Fernández, G., & Malfavón, N. (2004). *Seguridad e Higiene Industrial*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- Janania, C. (2007). *Manual de Seguridad e Higiene Industrial*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- OIT. (2005). *Informe sobre Seguridad en el Trabajo*. Recuperado el 6 de Febrero de 2012. Desde:  
<http://www.ilo.org/public/spanish/bureau/inf/download/factsheets/pdf/wdshw05.pdf>
- PEMEX. (2009). *Amplía PEMEX información sobre chapopoterías naturales en el Golfo de México*. Recuperado el Septiembre de 2012, de *Amplía PEMEX información sobre chapopoterías naturales en el Golfo de México*:  
<http://www.pemex.com/index.cfm?action=news&sectionid=118&catid=11391&contentid=20342>
- Púrpura, P. (2006). *Manual de la Capacitación para Personal de Seguridad*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- Ramírez, C. (2005). *Seguridad Industrial: Un Enfoque Integral*. México: Limusa, S.A. de C.V.
- Rodríguez, E. (2010). *Protección de la Seguridad y Salud de los Trabajadores: Una Revisión desde la Perspectiva Global, Latinoamericana y venezolana*. *Revista Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 5, 87-88. Recuperado el 10 de Marzo de 2012. Desde:  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2150/215016943006.pdf>

- SEMARNAT. (2011). Actividades Altamente Riesgosas. Recuperado El 27 de noviembre de 2012, de Actividades Altamente Riesgosas:  
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/materialesactividades/Paginas/actividadesaltamenteriesgosa.aspx>
- STPS. (2010). ATRIBUCIONES. Recuperado el Septiembre de 2012, de ATRIBUCIONES:  
[http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/quienes\\_somos/quienes\\_somos/atribuciones\\_stps.htm](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/quienes_somos/quienes_somos/atribuciones_stps.htm)
- STPS. (2011). Marco normativo de seguridad y salud en el trabajo. Recuperado el 5 de Marzo de 2012.  
Desde:<http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>
- TAR. (2012). Manual interno de operaciones. PEMEX Refinación. Cd. Obregón, Sonora.

## **Capítulo XII. Mitigación de sags en la red trifásica utilizando STATCOM'S conectados en estrella**

Luis Enrique Soto Mata, Javier Pérez Ramírez, José Antonio Beristaín Jiménez y

Armando Ambrosio Lopez

Cuerpo Académico de Utilización de la Energía Eléctrica

Instituto Tecnológico de Sonora

Ciudad Obregón, Sonora, México. [luis\\_enriquex@hotmail.com](mailto:luis_enriquex@hotmail.com)

### *Resumen*

En este artículo se presenta la evaluación de un STATCOM H-Bridge en configuración estrella aterrizada para demostrar la capacidad de mitigar sags producidos por la conexión de cargas por lado del usuario en baja tensión. En base a esta problemática se optó por realizar simulaciones bajo condiciones de carga balanceada y desbalanceada, donde el sistema demostrara sus capacidades de operación, la validación de los resultados se hacen en base al Estándar IEEE 1159, lo que permite asegurar que el sistema tiene la capacidad de mitigar sags entre fases de manera independiente ya sea con cargas balanceadas o desbalanceadas. Para ello, el objetivo del presente es mostrar los alcances que presenta esta configuración sometida a cargas inductivas de valores iguales o distintos, de tal manera que mantenga la estabilidad del voltaje y a su vez corrija el factor de potencia. La investigación, análisis, modelado, dimensionamiento del capacitor y la bobina, el diseño del STATCOM H-Bridge y las simulaciones se realizaron de acuerdo a los parámetros de operación de las instalaciones del Laboratorio de Calidad de la Energía y bajo las consideraciones del método de ingeniería (Wright, 1994). La propuesta para la mitigación de sags es validada mediante estudios de casos en simulación digital con el software PSIM.

### *Introducción*

Este artículo es producto del proyecto PROFAPI: “Monitoreo y control de calidad de energía en sistemas eléctricos de potencia” realizado en el interior del Cuerpo Académico de Utilización de la Energía Eléctrica con apoyo de estudiantes de postgrado en el año 2012, fortaleciendo las líneas de investigación sobre Calidad de la Energía Eléctrica.

A través de los años, la energía eléctrica se ha convertido en uno de los principales motores del desarrollo de la sociedad; la calidad y costo del suministro de energía es un factor determinante en la productividad, competitividad y en la

sobrevivencia de empresas e industrias en el actual mundo globalizado. Al igual que cualquier otro insumo el servicio de energía eléctrica es considerado como un producto que es definido por parámetros que determinan su calidad y conformidad para ser utilizada en procesos finales. En las últimas décadas se ha incrementado el énfasis puesto en la calidad de la energía eléctrica; entre los libros y artículos publicados acerca de este tema por la base de datos (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineer) encontramos a Bollen, M.H.J. y Singh, Bhim P. como los autores más importantes cada uno cuenta con más de 100 publicaciones en los últimos 15 años basadas en el estudio de dicho tópico (Bollen&Singh, IEEE Xplore Digital Library database), lo que nos da una idea del auge que hoy en día existe en relación a dicha área.

La definición de calidad de la energía es muy amplia pero se puede definir como la ausencia de interrupciones, transitorios, variaciones de voltaje y deformaciones de la forma de onda entregada por la compañía suministradora al usuario (Madrigal, 2003). Por ello, es importante que la compañía suministradora preste un servicio con alta calidad de la energía, debido a que la misma no puede controlarse antes de estar en disposición de ser utilizada, por otro lado, controlar la calidad de la energía suministrada no es una tarea fácil, ya que el nivel de calidad considerado aceptable por el proveedor de energía puede ser distinto al requerido y, posiblemente, del deseado por el usuario.

El problema de la calidad de la energía puede ser visto desde tres perspectivas diferentes. La primera, es la que corresponde al lado de los usuarios después del medidor, y es el impacto de los disturbios en los equipos. La segunda, también del lado de los consumidores, es que los fabricantes de equipos deben conocer los niveles de éstos disturbios y la frecuencia con que ocurren, para así diseñar equipo más robusto que presente una tolerancia razonable a dichas perturbaciones. La tercera que involucra tanto a los consumidores como a la compañía suministradora, es cómo los disturbios ocasionados por un consumidor afectan a otros consumidores que están conectados a la misma red de suministro o a los equipos de la misma compañía suministradora, (Bollen, 2000).

El Estándar IEEE 1159 proporciona recomendaciones para mantener los niveles de distorsión de la señal de voltaje dentro de límites aceptables, por lo tanto, garantizar niveles óptimos en la calidad de la energía es responsabilidad tanto de la compañía suministradora como de los usuarios, para ello es importante realizar un estudio previo con el objetivo de identificar los problemas, y tener los elementos necesarios para realizar un análisis minucioso, y así elegir las soluciones adecuadas para este problema, para ello es necesario disponer de equipos de corrección adecuados, una estrecha cooperación con la empresa suministradora, un frecuente control de la instalación y un buen mantenimiento, (Wright, 1994). En otras palabras requiere de un enfoque global y un buen conocimiento de los principios y procedimiento para la mejora de la calidad de la energía.

Existen varias soluciones técnicas para eliminar o reducir los efectos de los problemas de calidad de la energía que constituyen un campo de innovación y desarrollo muy activo. Entre los más importantes, tenemos: Transformadores de aislamiento, Transformadores ferroresonantes, Interruptor automático de estado sólido, Filtros de armónicas (Pasivos y Activos), Fuentes ininterrumpibles (UPS) y FACTS, (Hingorani & Gyugyi, 1999).

Los FACTS (Flexible AC Transmission Systems) utilizan dispositivos electrónicos en electrónica de potencia para modificar los parámetros físicos de la red: voltaje y diferencia angular entre los extremos de la línea, reactancia de la línea, y así controlar el flujo de potencia en una línea de transmisión, a diferencia de los sistemas de potencia convencionales que ofrecen poca flexibilidad para controlar el flujo de potencia, (SONG & JOHNS, 1999).

El STATCOM (STATic synchronous COMpensator) es uno de los dispositivos FACTS más importantes que tiene como función principal corregir el factor de potencia en las líneas de transmisión realizando el intercambio de potencia reactiva y a su vez permite incrementar la capacidad de las mismas, (Javcic & Sternberger, 2010).

La problemática se centra en evaluar la capacidad de mitigar depresiones de voltaje provocados por la conexión de cargas inductivas a un sistema trifásico con una configuración de tres STATCOM H-Bridge en conexión estrella aterrizada.

El objetivo de este artículo es mostrar los alcances que presenta esta configuración sometida a cargas inductivas de valores iguales o distintos, de tal manera que mantenga la estabilidad del voltaje y a su vez corrija el factor de potencia.

Se realiza la presente investigación en dicha área debido a que las depresiones de voltaje son los problemas de calidad de energía que se presentan con mayor frecuencia, así como también presentan las consecuencias más graves en equipos que estén conectados a la misma red (Prolyt, 2002). Por lo tanto, la mitigación de dichos disturbios en la señal de voltaje de la red representa una mejora en la calidad de la energía y por ende una disminución en la factura de la compañía suministradora para el usuario, así como una mejora en el sistema del suministro eléctrico al tener una señal no contaminada por el usuario.

### *Fundamentación teórica*

Para definir un sag (depresión de voltaje) es necesario especificar su profundidad (porcentaje de depresión) y su duración (tiempo en que la tensión permanece deprimida), ver Figura 1. En los sistemas eléctricos industriales los “sags” son las perturbaciones más comunes y estos pueden ser originados por causas dentro o fuera de la planta.

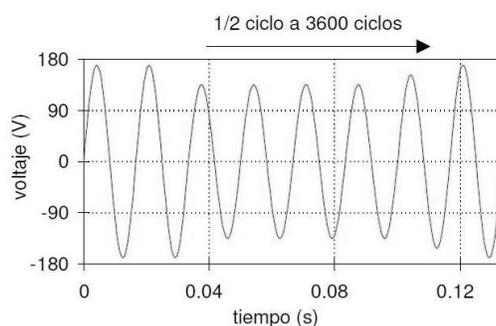


Figura 1. Variación de voltaje de corta duración “sag”.

La Tabla 2 del Estándar IEEE Std 1159 permite clasificar los eventos de calidad de energía de acuerdo a su duración y magnitud. El sag está clasificado dentro de las variaciones de voltaje de corta duración que abarca de 0.5 a 3600 ciclos (8.3 ms a 1 minuto) y a su vez se pueden dividir en instantáneas (.5 - 30 ciclos), momentáneas (30 ciclos - 3 seg) y temporales (3 seg - 1 min), con una magnitud entre 0.1 y 0.9 p.u.,

Las causas más frecuentes de las variaciones de voltaje de corta duración debido a causas externas se originan por cortocircuitos producidos en las redes debido a descargas atmosféricas y maniobras de interrupción, así también las originadas por causas internas son producidas principalmente por arranque de grandes motores, conexión de transformadores, conexión de cargas de potencias elevadas (sag) o disminuciones repentinas de carga (swell), recuperaciones después de una falla y ocasionar pérdida de información en sistemas informáticos, mal funcionamiento en sistemas de control, degradación de componentes y reducción en la vida útil de los equipos, (Bollen, 2000).

### *Metodología*

La estructura de esta investigación está basada en el método de ingeniería (Wright, 1994), englobados en 4 grupos principales lo cuales marcaron la pauta para la obtención de los resultados correctos según lo establecido en el Estándar IEEE 1159.

### *Análisis*

- Realizar una investigación bibliográfica en la base de datos de la IEEE para verificar el estado actual de las investigaciones en artículos relacionados con utilización de STATCOM's en sistemas trifásicos para la mitigación de sags.
- Analizar las topologías y estrategias utilizadas en los artículos de mayor relevancia, para tener una visión más amplia de los estudios realizados.
- Seleccionar la estrategia de modulación, la topología del convertidor y la estrategia de control con el fin de llegar al estado del arte.

## Modelado

Realizar el modelado del convertidor conectado a la red eléctrica y de la técnica de compensación de variaciones de voltaje, para ello se siguen los siguientes pasos:

- Generar un modelo conmutado del convertidor
- Generar un modelo promediado en coordenadas 'abc'.
- El modelo promediado se integra con un modelo lineal del sistema trifásico de ac y los reactores de acoplamiento.
- Para implementar un controlador desacoplado, el modelo promediado del STATCOM H-Bridge en coordenadas abc se transforma a un marco 'dq0'.
- Para diseñar un compensador lineal en el control de retroalimentación se obtiene un modelo en pequeña señal del modelo promediado en 'dq0'.

## Simulación

- Realizar simulaciones en PSIM y Simulink/MATLAB, para validar el modelado del convertidor conectado a la red tanto en lazo abierto como en lazo cerrado, y así obtener resultados preliminares que permitan verificar el intercambio de potencia entre el convertidor y la red, comparándolos con los resultados teóricos.
- Realizar simulaciones del STATCOM H-Bridge conectado en estrella con la red trifásica para validar su capacidad de compensación de sags.

## Implementación y Pruebas

- Realizar las tarjetas de circuito impreso de acuerdo a la topología elegida para el inversor puente h, así como para los sensores de voltaje y corriente, diseño de las etapas de adecuación para el muestreo y el procesamiento de señales, desarrollo de los algoritmos de control para implementar las técnicas de modulación y conmutación en el DSP TMS320F28335 de Texas Instruments.
- Obtención de resultados prácticos

- Comparar los resultados prácticos obtenidos con las medidas de desempeño propuestas en los resultados teóricos calculado, como con su respectiva simulación.

En términos generales la metodología que se propone se concreta en realizar investigación bibliográfica, identificar y proponer soluciones a los problemas identificados, evaluar las posibles soluciones, selección la solución que se ajusta los requerimientos del proyecto y realizar un análisis de resultados, y así, generar y aplicar este conocimiento, como lo marca el método de ingeniería(Wright, 1994).

*Resultados y discusión*

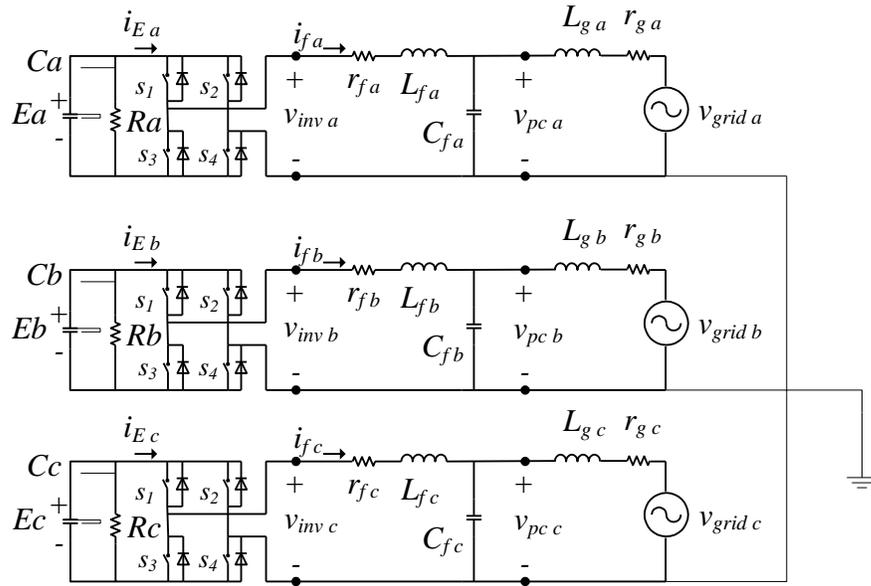


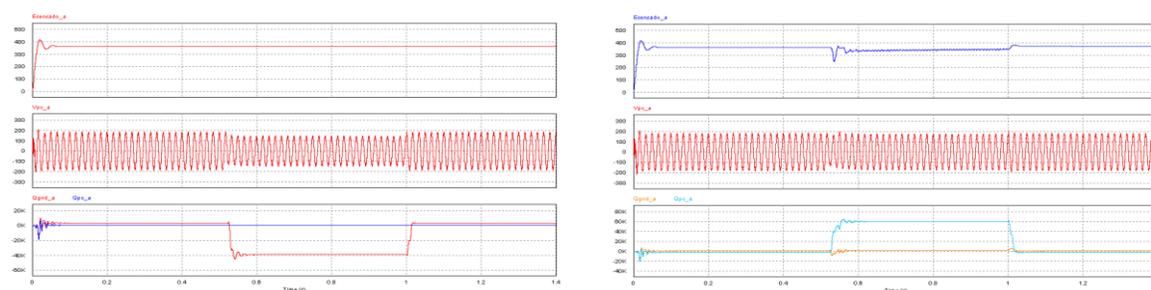
Figura 2. STATCOM H-Bridge en configuración estrella aterrizada conectado al sistema trifásico de 4 hilos.

Para comprobar la capacidad del STATCOM de mitigar sags en configuración estrella aterrizada en un sistema trifásico de 4 hilos con cargas inductivas en el punto de conexión ( $V_{pc}$ ), se llevaron a cabo simulaciones bajo las siguientes consideraciones: Transformador con las siguientes características: capacidad 300 kVA, 13,200 V YT/7620 AT, 220 V Y/127 V, 60 Hz,  $Z=2.8\%$ . Se dimensionaron los elementos para un sag

con una profundidad del 20% y un rizo máximo de tensión en el bus de CD del 20%, para el capacitor del filtro  $C_f$  sea ha calculado una potencia reactiva de  $Q_f = 201.54$  VA, para un voltaje deseado de 180 Vpico (Vgrid), un Voltaje del bus de CD ( $E_{CD}$ ) de 360 V.

La detección del sag se hace mediante una transformada dq monofásica por fase, para ello fue necesario tener un sensor de corriente conectado en serie con cada carga en  $V_{pc}$ , y así obtener sus componentes dq e incluirlas en la etapa de control para obtener un señal de control equivalente a la potencia reactiva demandada por cada carga.

En la Figura 3, se muestra los resultados de comportamiento del sistema cuando se produce un sag del 20% en cada fase debido a la conexión de una carga inductiva  $L_L = 680\mu\text{H}$ , en la figura 3.a se muestran los buses de CD, el voltaje en el punto de conexión y la potencia reactiva demandada por la carga para la fase a,b y c antes de realizar la compensación, y en la figura 3.b se muestran los resultados después de realizar la compensación.



a) Cuando el sistema no está compensando

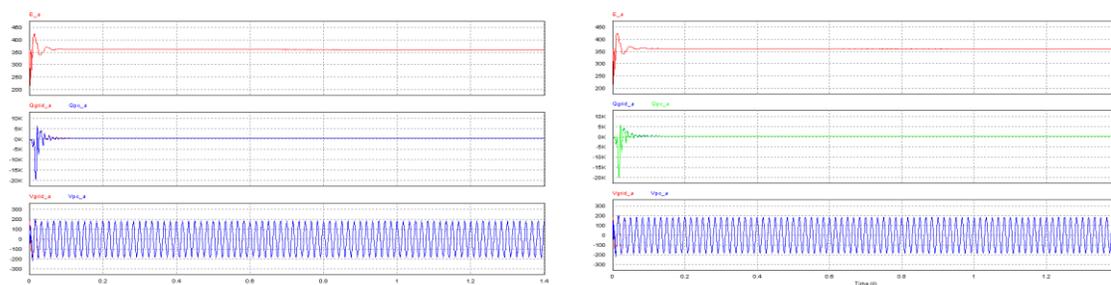
b) Cuando el sistema esta compensando.

Figura 3. Voltaje en el Bus de CD ( $E$ ), voltaje en el punto de conexión ( $V_{pc}$ ) y potencia reactiva en el punto de conexión ( $Q_{pc}$ ) y en la red ( $Q_{grid}$ ) para la fase a, b y c.

Debido a que la carga conectada esta balanceada el sistema se comporta de manera idéntica en cada fase, en la Figura 2, a) se muestra la caída de voltaje en el punto de conexión cuando entra la carga, se muestra como se mantiene estable el voltaje del bus de CD y la potencia reactiva que demanda la carga, por otro lado en la Figura 2, b) se muestra como el sistema mitiga la caída de voltaje al momento de entrar la carga y como el bus de CD ( $E_{CD}$ ) se mantiene en 360 V como se propuso en un inicio, además se

muestra la potencia reactiva inyectada por el STATCOM . Con esto se comprueba que el sistema funciona de la manera esperada bajo condiciones balanceadas de carga.

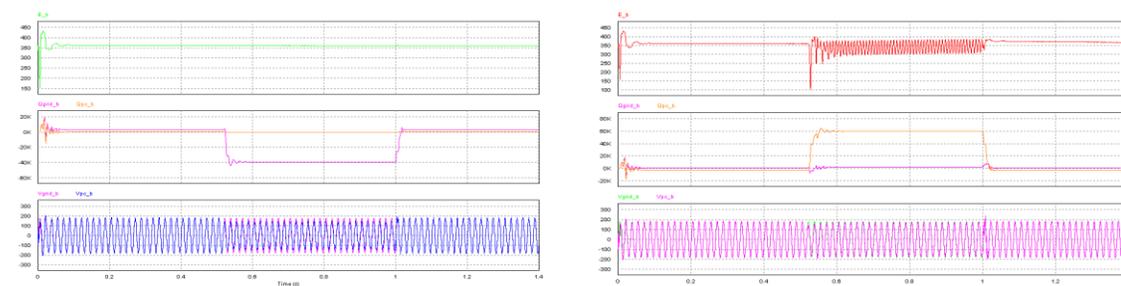
De igual manera se realizó un análisis bajo condiciones de conexión de cargas desbalanceadas los resultados se presentan a continuación:



a) Cuando el sistema no está compensando

b) Cuando el sistema esta compensando.

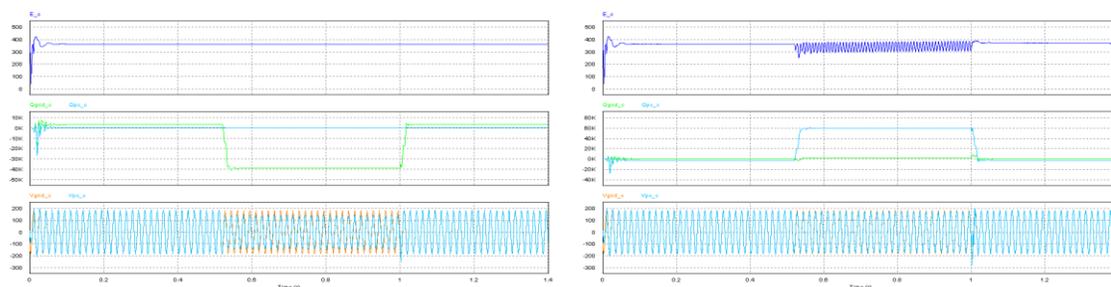
Figura 4. Voltaje en el Bus de CD (E), potencia reactiva en el punto de conexión ( $Q_{pc}$ ) y en la red ( $Q_{grid}$ ), voltaje en el punto de conexión ( $V_{pc}$ ) de la fase a.



a) Cuando el sistema no está compensando

b) Cuando el sistema está compensando.

Figura 5. Voltaje en el Bus de CD (E), potencia reactiva en el punto de conexión ( $Q_{pc}$ ) y en la red ( $Q_{grid}$ ), voltaje en el punto de conexión ( $V_{pc}$ ) de la fase b.



a) Cuando el sistema no está compensando

b) Cuando el sistema esta compensando.

Figura 6. Voltaje en el Bus de CD (E), potencia reactiva en el punto de conexión ( $Q_{pc}$ ) y en la red ( $Q_{grid}$ ), voltaje en el punto de conexión ( $V_{pc}$ ) de la fase c.

En la Figura 4, 5 y 6, se muestran las señales de cada fase cuando se provocan sags debido a la conexión de cargas desbalanceadas.

En la Figura 4 se muestra cómo reacciona el sistema cuando la fase a no hay conexión de carga, como se puede ver el sistema permanece apagado al no detectar una corriente por la conexión de carga.

En la Figura 5 y 6 las fases b y c, respectivamente, son afectadas por la conexión de cargas, generando un sag del 20%, en 5.a y 6.a se muestra el sag antes de mitigarlo y en 5.b y 6.b se muestra la señal de la fase a y b una vez que el sistema ya mitigo el sag producido por la conexión de cargas.

### *Conclusiones*

En este artículo se presentan una evaluación mediante simulación de la capacidad que tiene el STATCOM H-Bridge conectado en estrella aterrizada para mitigar sags por el lado del usuario en una red trifásica. Se ha visto que cuando ocurre un sag debido a una carga balanceada, esto quiere decir, que el valor de la carga es el mismo para cada una de las fases el sistema demuestra la capacidad de mitigar dicho sag inyectando la potencia reactiva necesaria para estabilizar el voltaje en el valor deseado. Por otro lado, cuando las cargas de distinto valor son conectadas a cada una de las fases del sistema, el sistema realiza la mitigación del sag de cada fase de manera independiente sin problema alguno, por lo que se puede asegurar que de acuerdo a los resultados obtenidos, el sistema tiene la capacidad de mitigar sags de manera independiente ya sea con carga balanceada o desbalanceada. Es importante señalar que dicha funcionalidad se logró debido a que se manejan tres STATCOM H-Bridge individuales conectados en estrella aterrizada, por lo que esta configuración permite que dicha topología adquiera mayor versatilidad y robustez.

### *Referencias*

Dragan Javcic & Ronny Sternberger, *Frequency-Domain Analytical Model for a Cascaded Multilevel STATCOM*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 4, October 2010, pp- 2139-2147.

Estándar IEEE 1159 (1995 rev.2009). *Recomendaciones Prácticas para el monitoreo de calidad de la energía eléctrica*, New York, NY, USA, IEEE.

IEEE Xplore Digital Library database “<http://ieeexplore.ieee.org/>”

Manuel Madrigal M. (2003), *Manual de Calidad de la energía y análisis armónico en sistemas eléctricos*.

Math H.J. Bollen. (2000), *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, Piscataway, N.J., IEEE Press. Math H.J. Bollen. (2000), “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, N.J., IEEE Press.

N.G. Hingorani & L. Gyugyi. (1999), *Understanding FACTS Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*, Piscataway, N.J., IEEE Press.

Prolyt. (2002), Boletín: *Problemas de Energía Eléctrica*. México, D.F.

Wright, Paul H. (1994), *Introducción a la ingeniería*, Wilmington, Delaware, E. U. A., Addison-Wesley Iberoamericana

Yong Hua Song & Allan T Johns. (1999), *Flexible AC Transmission Systems (FACTS)*, London, United Kingdom, The Institution of Electrical Engineers.

### **Capítulo XIII. Diseño de un STATCOM para compensar el factor de potencia eléctrica de una línea trifásica de 220 V**

Andrés Othón Pizarro Lerma, Javier Pérez Ramírez, José Antonio Beristáin Jiménez,  
Armando Ambrosio López y Enrique Aragón Millanes  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [andres.pizarro@itson.edu.mx](mailto:andres.pizarro@itson.edu.mx)

#### *Resumen*

Se presenta el diseño de un compensador estático (STATCOM) aplicado en la compensación del factor de potencia eléctrica (F.P.) de una línea de alimentación de energía eléctrica trifásica de 220V, realizado por el Cuerpo Académico (CA) de Utilización de la Energía Eléctrica del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Se da una introducción a la problemática que genera un F.P menor a 1 en la línea de suministro y a los abonados conectados a ella, para después entrar a ver las partes más importantes de un STATCOM y la transformada D-Q que se utiliza de manera muy importante para su control; después se muestra de manera breve y concisa los pasos que se siguieron para diseñar el STATCOM de tal forma que compense el factor de potencia para unas cargas dadas; asimismo en el apartado de resultados se muestran las simulaciones que comprueban para diferentes tipos de cargas que el STATCOM funciona de acuerdo a lo estipulado, sólo que incrementa la distorsión armónica total ya que agrega un poco de rizo a las señales de corriente, producto éste de la conmutación de los switches que integran el puente inversor del STATCOM.

#### *Introducción*

En décadas recientes, el incremento en la población humana, así como en las actividades industriales y de servicios cada vez más complejas, diversas y dependientes de la tecnología han propiciado un aumento en la cantidad de energía eléctrica que se necesita suministrar por parte de los sistemas de generación, transmisión y distribución de este bien. Al mismo tiempo se ha generalizado el uso de equipos de electrónica de potencia en fuentes de computadora, laptops, cargadores de celulares y smartphones, controles de velocidad de motores en la industria, etc., que a pesar de ser altamente eficientes, generan gran cantidad de armónicos los cuales se pueden ver como potencia reactiva que se demanda al sistema de suministro eléctrico (Pérez, 2012). Lo anterior

ha llevado a que estos sistemas se encuentren muy estresados ya que se requiere el funcionamiento de las redes de generación y distribución de energía eléctrica más cerca de sus límites de estabilidad. El funcionamiento del sistema de energía se ve muy afectado por problemas relacionados con dicha estabilidad, lo que puede conducir a un comportamiento impredecible del sistema (Zhang, Rehtanz, Pal, 2006). Para hacer frente a este aumento en la demanda de energía, a las compañías de generación y distribución de energía eléctrica les gustaría reforzar el sistema de transmisión mediante la construcción de más interconexiones. Es bastante difícil obtener el permiso de las autoridades locales para las nuevas rutas de las líneas de transmisión debido a (a) el aumento de las zonas urbanizadas, (b) la necesidad de mantener una buena tierra de cultivo, y (c) otras consideraciones estéticas y ambientales. Por lo tanto, los servicios públicos tienen que encontrar otras soluciones técnicas, al mismo tiempo, las compañías deben asegurar que su calidad de la energía no se vea afectada.

Antes del uso generalizado de equipos de electrónica de potencia, los microprocesadores para control industrial, y la automatización en fábricas y oficinas, las pequeñas variaciones en la energía no afectaban seriamente el funcionamiento del equipo convencional, tal como las luces y los motores de inducción. Si la tensión de alimentación bajaba debido a un fallo (es decir, una bajada de tensión ocurría), las luces se atenuaban simplemente, y el motor de inducción producía una menor velocidad. En estos días los efectos de las interrupciones de energía son bastante costosos (Sastry Vedam, Sarma, 2009):

a. Una planta de vidrio estima que una interrupción de cinco ciclos, una interrupción momentánea de menos de una décima de segundo, puede costar alrededor de \$ 200.000 dólares americanos.

b. Uno de los principales informes de los centros informáticos que una interrupción de 2 segundos puede costar unos \$ 600.000 dólares americanos.

c. En algunas fábricas, tras una caída de tensión, el reinicio de las líneas de montaje pueden requerir la limpieza de producción dañada, el reinicio de las calderas, y

la reprogramación de controles automáticos a un costo típico de \$ 50,000 dólares americanos por incidente.

d. Un fabricante de automóviles estimó que las pérdidas totales de interrupciones momentáneas en todas sus plantas alcanzó a cerca de \$ 10 millones de dólares americanos al año.

Se prefieren las soluciones eficientes de costos sobre las extensiones de la red, lo que significa que la red actual tiene que ser forzada para cumplir con la demanda cada vez mayor de energía eléctrica por parte de los abonados.

Una de las estrategias principales para lograr lo anterior es disminuir la cantidad de potencia reactiva que se demanda a la red de suministro. Cuando cualquier carga se conecta a la red, esta demanda dos tipos de potencia para su correcto funcionamiento: Potencia activa o real y potencia reactiva. La potencia activa es aquella que realmente se consume por parte de la carga, principalmente disipada en forma de calor, mientras que la potencia reactiva es una potencia que va y viene de la red a la carga y viceversa, en un proceso de carga y descarga de los elementos reactivos que componen a la carga, principalmente capacitores y bobinas, sin que se gaste energía realmente, más que por la recirculación doble de corriente en los ciclos de carga y descarga al pasar por los conductores de alimentación debida a la resistencia óhmica de éstos (El-Hawary, 2008). A la relación entre la potencia real consumida y la potencia aparente demandada se le denomina factor de potencia o F.P.:

$$F.P. = \frac{\text{Potencia Real consumida}}{\text{Potencia aparente demandada}} \quad (1)$$

Sin embargo, como los cables conductores usados están limitados respecto a la cantidad máxima de corriente que puede circular por ellos, las corrientes generadas por la potencia reactiva ocasionan que estos conductores se vean saturados por corrientes que no producen ningún trabajo efectivo, implicando así la necesidad de incrementar el calibre de los cables para suministrar la potencia demandada, lo que es excesivamente costoso. Es por esta razón que las compañías suministradoras de energía eléctrica en todo el mundo penalizan el que el factor de potencia se aleje del ideal del 100%, y por

el contrario bonifican el que este factor se acerque al 100%. Por ejemplo en los Estados Unidos Mexicanos la CFE puede llegar a penalizar a un usuario hasta con 120% del cobro por consumo de energía eléctrica debido a un bajo factor de potencia, o bonificarle hasta 2.5% si dicho factor está en 100% (CFE, 2013).

De ahí la importancia para la gran mayoría de las industrias, ya que éstas operan una gran cantidad de maquinaria que emplean motores eléctricos como fuentes de fuerza y movimiento, y estos motores, constituidos principalmente por bobinados eléctricos suelen ocasionar que se tenga un muy bajo nivel de potencia. Esto también aplica para comercios, escuelas, edificios departamentales, sobretodo en regiones donde se requiere de climatización constante como en los estados de Sonora y Sinaloa, por ejemplo, ya que los aires acondicionados utilizados también tienden a disminuir considerablemente el factor de potencia y por tanto, incrementar el costo del recibo por consumo de energía eléctrica.

Las soluciones técnicas empleadas en la actualidad van desde el uso de condensadores en paralelo, tal como la misma CFE lo aconseja, pasando por la aplicación filtros activos, transformadores de fase cambiada, y SVC's hasta la conexión de compensadores estáticos síncronos (STATCOM's). El problema con la conexión en paralelo de capacitores para disminuir la potencia reactiva es que sólo se recomienda para aplicaciones en que el consumo de potencia reactiva sea muy constante, ya que si no es así estos capacitores pueden crear el efecto contrario. Una mejora a la propuesta anterior es el uso de switches que conecten y desconecten algunos de los capacitores conforme se vaya necesitando, sin embargo esta solución no puede ser usada cuando aparezcan problemas de fluctuaciones transitorias ya que este sistema no puede actuar de manera muy rápida. Cuando la potencia reactiva demandada sea muy fluctuante y que además contenga armónicos se recomienda el uso de filtros activos, de entre todas las propuestas actuales para implementar un filtro activo se prefiere al STATCOM ya que además de poder compensar cualquier tipo de potencia reactiva, a casi cualquier nivel de voltaje, permiten eliminar armónicos y fluctuaciones rápidas en el voltaje de la red de suministro debidas a cargas que consumen potencia reactiva, y pueden también,

entregar potencia activa si se les conecta una fuente de alimentación externa (Padiyar, 2007).

Por todo lo anterior, este trabajo se enfoca al diseño de un STATCOM trifásico para compensar la potencia reactiva, de tal manera que el F.P. se acerque lo más posible a un 100%.

### *Fundamentación teórica*

Un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) consiste principalmente en un inversor de voltaje que produce una señal de voltaje de corriente alterna (CA) que se acopla por medio de una inductancia o transformador a la señal de línea de suministro de energía eléctrica, de tal modo que se inyecta una corriente con la finalidad de compensar el factor de potencia. La diferencia principal radica en que el bus de CD que se usa como fuente de alimentación en un inversor típico, es sustituido por un capacitor que se carga a través de la potencia que proporciona la misma línea de suministro, lográndose esto por medio de un cambio en el voltaje pico y la fase que genera el inversor, donde un diagrama típico de STATCOM se muestra en la figura 1. La  $R_{pérdidas}$  es una resistencia que representa las pérdidas de potencia real que tiene el circuito inversor debido a la conmutación de los switches, la resistencia óhmica de los cables usados y de las placas del capacitor que mantiene el voltaje del Bus de CD para el inversor. La  $R_{bobina}$  representa la resistencia eléctrica que presenta el embobinado de la bobina de acoplamiento.

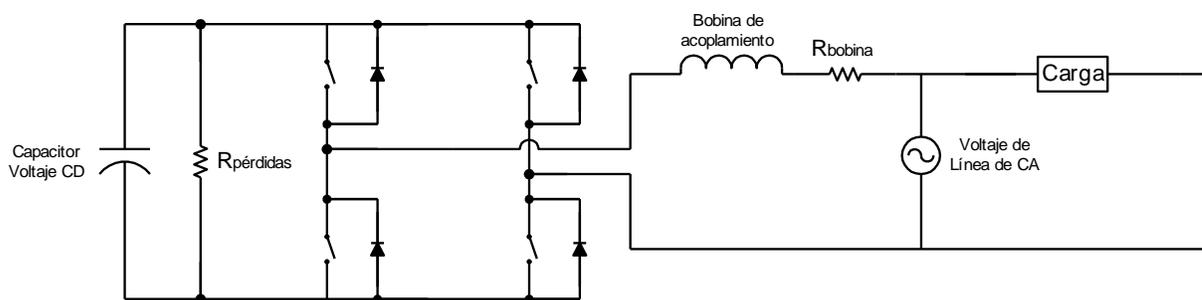


Figura 1. Circuito típico de un STATCOM monofásico.

Asimismo, como el bus de CD está dado por el voltaje almacenado en el capacitor de alimentación, el STATCOM no puede proporcionar potencia activa hacia el suministro, ya que esto propiciaría que el voltaje en éste disminuyera rápidamente con el tiempo, dejando sin alimentación de CD al puente inversor, por lo que sólo inyecta potencia reactiva a través de la corriente que circula por la bobina de acoplamiento con la red. Los diodos de marcha libre conectados a cada uno de los switches del puente inversor actúan como un puente rectificador por medio del cual, y a través del manejo de la fase y el voltaje pico generado por el puente que para ese lado del circuito actúa como un convertidor CD-CD boost, se carga el capacitor del bus de CD. Los switches pueden ser cualquier tipo de transistor como BJT's, MOSFET's, IGBT's o tiristores que pueden ser encendidos y apagados de manera arbitraria, como GTO's que son los más usados en este tipo de circuito.

De esta manera el STATCOM se puede modelar como una fuente de voltaje de CA, de voltaje pico =  $V_{inv}$  y ángulo de desfase  $\alpha$  variables, conectada a la red por medio de la bobina de acoplamiento, tal como se muestra en la figura 2.

La corriente inyectada a la red por parte del STATCOM queda como (Pérez, 2012):

$$I_f = \frac{V_{inv}(\cos(\alpha) + j\text{sen}(\alpha)) - V_p}{j\sqrt{2}\omega L_f} \quad (2)$$

Con las potencias activa y reactiva calculadas en la fuente de la línea de suministro como:

$$P_T = \frac{V_p}{2\omega L_f} V_{inv} \text{sen}(\alpha) \quad (3)$$

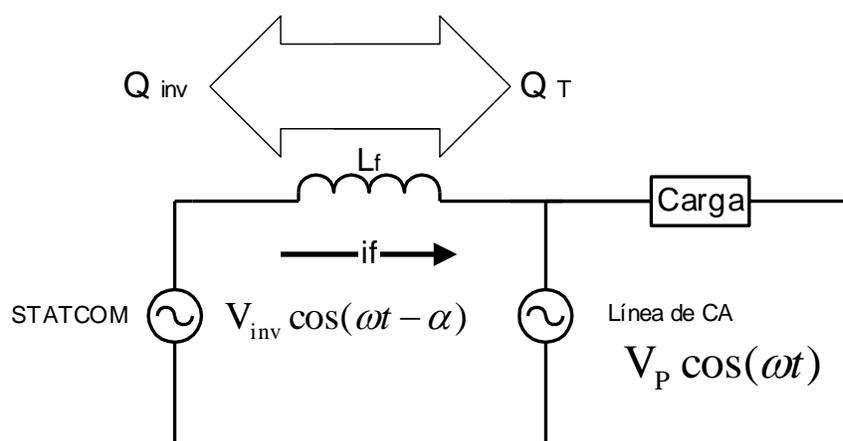


Figura 2. Circuito equivalente del STATCOM y la red de suministro

$$Q_T = \frac{V_P}{2\omega L_f} (V_{inv} \cos(\alpha) - V_P) \quad (4)$$

El  $V_{inv}$  determina el tipo y la cantidad de potencia reactiva que va a poder compensar el STATCOM, si el  $V_{inv}$  es mayor al  $V_P$  del voltaje de línea, el STATCOM simula un capacitor conectado en paralelo, por lo que estaría compensando potencia reactiva positiva (la que genera una inductancia conectada a la red); si el  $V_{inv}$  es igual al  $V_P$ , no se compensa nada ya que la corriente que circula por la bobina tiende a ser cero; si el  $V_{inv}$  es menor que  $V_P$ , el STATCOM simula una bobina conectada en paralelo a la fuente de la línea, por lo que estaría compensando potencia reactiva negativa (la que genera un capacitor conectado a la red), de hecho si el  $V_{inv}$  es cero, la bobina de acoplamiento estaría conectada en paralelo con la línea, por lo que su inductancia indica el límite máximo de potencia reactiva capacitiva que se puede compensar. Por lo regular el voltaje máximo que puede alcanzar  $V_{inv}$  se propone al doble del  $V_P$  de la señal de línea para que la gráfica de potencia reactiva que se puede compensar sea simétrica, como se muestra en la Figura 3.

La variación del ángulo  $\alpha$  permite demandar potencia activa de la red hacia el STATCOM y con esto mantener cargado el capacitor que proporciona el voltaje del bus de CD.

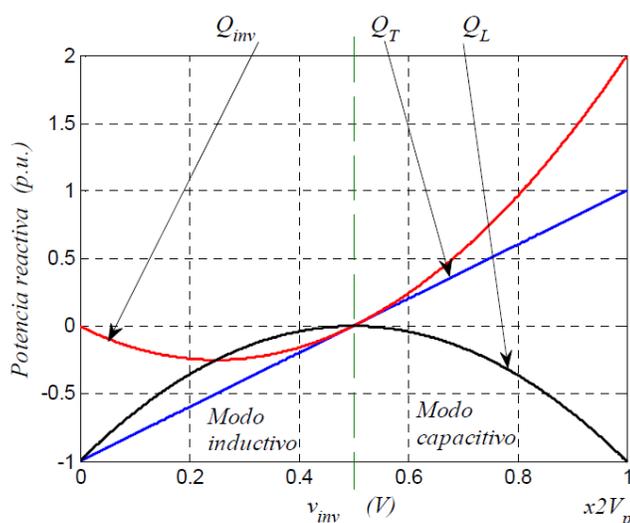


Figura 3. Potencia Reactiva inyectada a la red de suministro eléctrico de acuerdo al valor de  $V_{inv}$

La Transformada D-Q. Inicialmente propuesta por Park en 1929 para el análisis de máquinas rotatorias síncronas, su transformada puede ser modificada para obtener los valores pico de las corrientes activas y reactivas demandadas por una carga a partir de la corriente que pasa por ella (Padiyar (2007), Fujitsu, 2011), y con esto obtener las señales de referencia que necesita el sistema de control del STATCOM para inyectar la corriente reactiva necesaria para lograr un F.P. de 100%.

Si se observa la figura 4, se tiene que  $i_d$  e  $i_q$  son los fasores de la corriente rotante de 2 fases,  $\theta$  es el ángulo entre las corrientes  $i_\alpha$  e  $i_\beta$ , y de esta relación gráfica se tiene que:

$$\begin{aligned} i_d &= i_\alpha \cos \theta + i_\beta \sin \theta \\ i_q &= -i_\alpha \sin \theta + i_\beta \cos \theta \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (5)$$

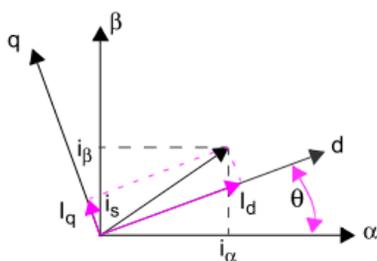


Figura 4. Diagrama fasorial de la transformación D – Q

Si se hace  $i_\alpha = i_{\text{carga}}$  e  $i_\beta = i_{\text{carga}+90^\circ}$ , desfasada  $90^\circ$  para indicar el componente de corriente reactiva, y como  $\theta = \omega t$ , la ecuación (6) se convierte en:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \text{sen} \omega t \\ -\text{sen} \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\text{carga}} \\ i_{\text{carga}+90^\circ} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Y las corrientes  $i_d$  e  $i_q$  constantes, representan ahora los valores pico de las corrientes activa y reactiva, respectivamente, tal como se muestra en el ejemplo de la figura 5, donde de una señal de corriente  $i_{\text{ent}} = 10\text{sen}(\omega t + 30^\circ)$  da una  $i_d = 10 \cos(30^\circ) = 8.86$  y una  $i_q = 10\text{sen}(30^\circ) = 5.0$ .

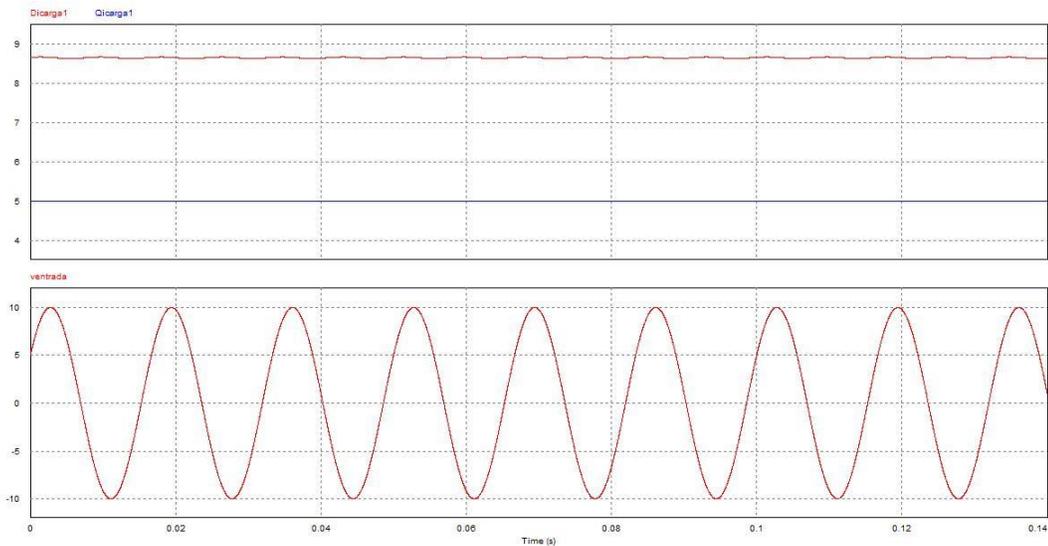


Figura 5. Transformada D-Q de una señal de corriente senoidal desfasada  $30^\circ$ , señal  $i_{\text{ent}} = 10\text{sen}(\omega t + 30^\circ)$ .

### Metodología

Se consideró primero diseñar y simular un STATCOM monofásico para un voltaje de línea de 120Vrms, 60 Hz y 10 A máximo de consumo de energía. Se usó un esquema de control basado en dos lazos de realimentación, tal y como lo usan Dehini, Benachaiba, Bassou, (2012); y Pérez, (2012), como se muestra en la figura 6.

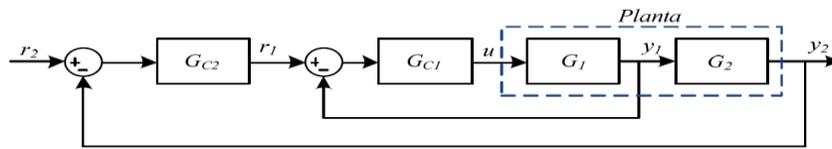


Figura 6. Esquema de control usado

El lazo interno define como referencia la corriente que debe de inyectar el STATCOM a la línea de suministro, mientras que el lazo externo regula el voltaje que debe de tener el capacitor del bus de CD del inversor. La corriente reactiva a inyectar se obtiene por medio de la transformada D-Q y un muestreo de la señal de línea, tal y como se muestra en el siguiente diagrama (ver figura 7).

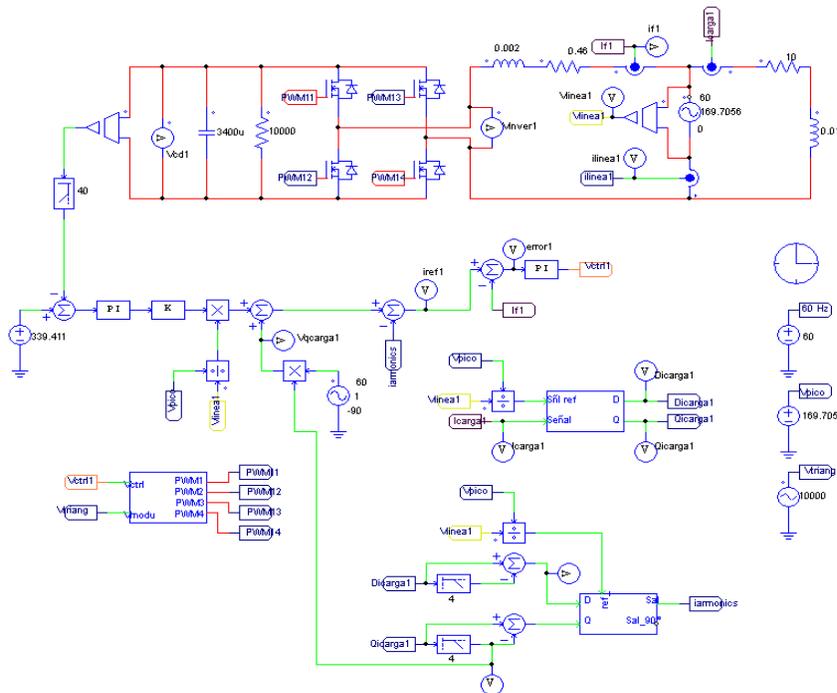


Figura 7. STATCOM monofásico implementado.

Después de comprobar el funcionamiento de esta propuesta, se repitió tres veces para usarla en un sistema trifásico, uno por fase. Los componentes del sistema de control, incluida la D-Q se digitalizaron y se convirtieron en un programa de lenguaje C,

exportable a cualquier sistema basado en microprocesador, y quedó el sistema que se muestra en la Figura 8.

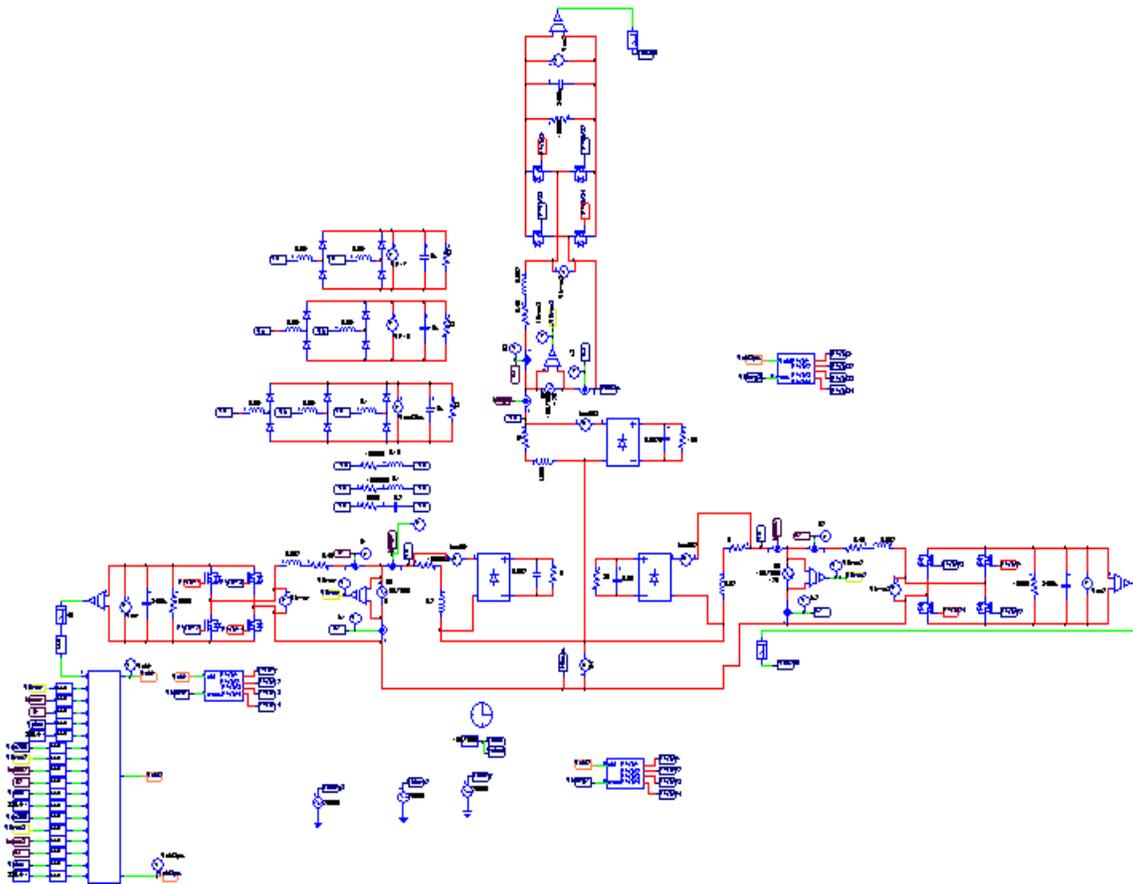


Figura 8. STATCOM trifásico implementado.

### *Resultados y discusión*

En las figuras 9 y 10 se presentan las señales obtenidas de corriente y voltaje de línea, así como de la carga. Las corrientes fueron escaladas en la gráfica por diversos factores para que se pudieran apreciar mejor. Se puede ver el desfaseamiento que se tiene entre las corrientes de carga y de línea, y como al tener el STATCOM la corriente de línea se encuentra totalmente en fase con el voltaje de línea, lo que da un F.P. de 99.8%. Así también se puede observar que se tiene un muy ligero incremento en la Distorsión Armónica Total (THD) de casi 0% hasta un 1 ó 2%.

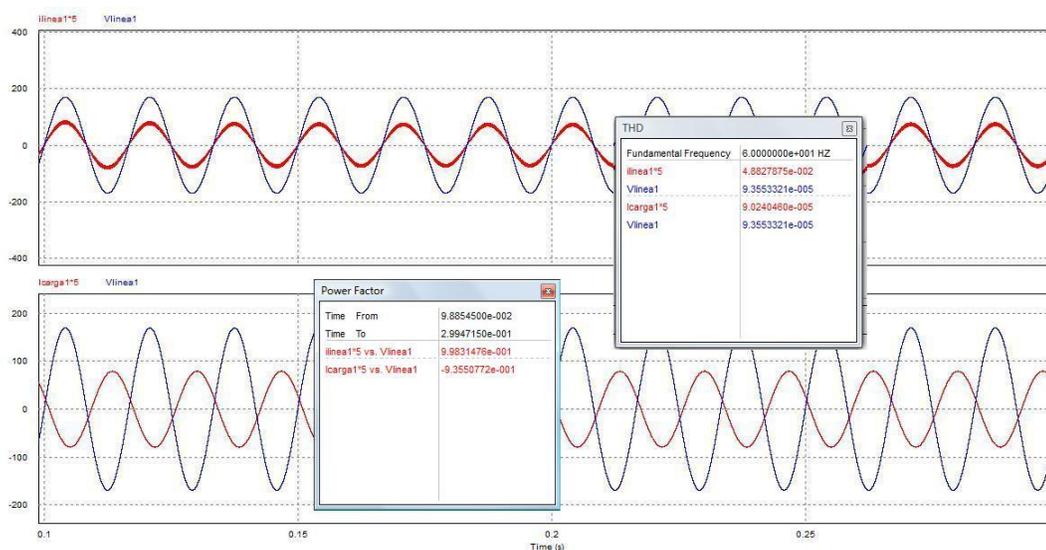


Figura 9. Respuesta con el STATCOM monofásico implementado.

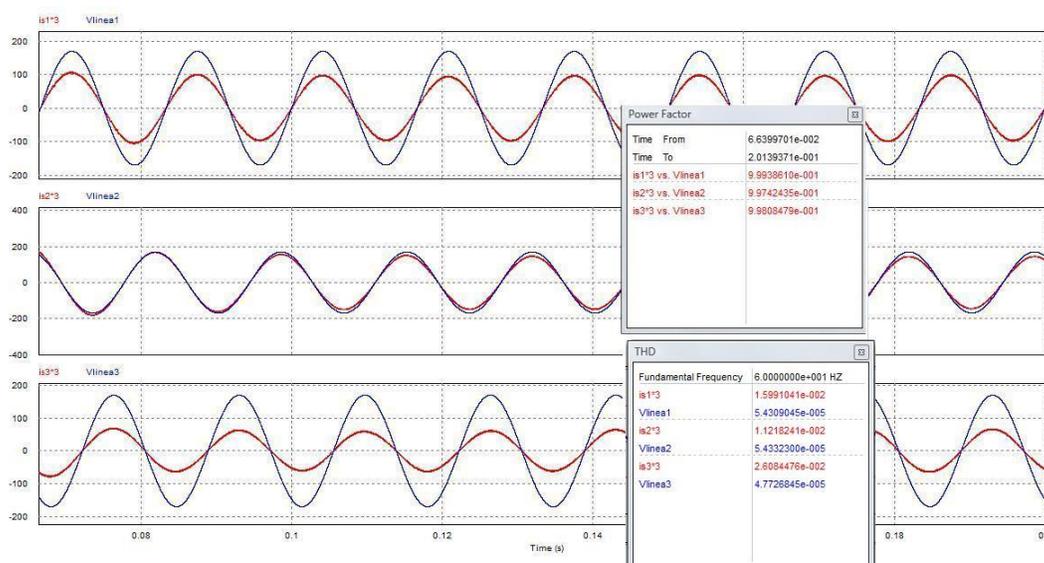


Figura 10. Respuesta con el STATCOM trifásico implementado.

### Conclusiones

El sistema de compensación de potencia reactiva para lograr un F.P. de 100%, basado en un STATCOM y con un esquema de control aplicando la transformada D-Q, funciona precisamente al 100%, sin embargo al medir la distorsión Armónica total, esta

aumenta de casi cero hasta 2% debido a la modulación PWM usada en los switches que conforman el puente inversor.

### *Referencias*

- Comisión Federal de Electricidad (2013). CFECTiva Empresarial: Factor de Potencia, <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>.
- Dehini, R., Benachaiba, C., Bassou, A. (2012). Simulation of Distribution Static Compensator (D-STATCOM) to Improve Power Quality. Arab Journal of Science and Engineering, Springer.
- El-Hawary, M. (2008). Introduction to Electrical Power Systems. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 9-15.
- FUJITSU Semiconductor Limited (2011). 32-BIT MICROCONTROLLER MB9B100A/ MB9B300A/ MB9B400A/ MB9B500A Series - Coordinate transform. FUJITSU Semiconductor Limited, European Union, 10-12.
- Padiyar, K. R. (2007). FACTS Controllers in power transmission and distribution. New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi, India, 173-174 y 185-188.
- Pérez, J. (2012). Aplicación de Convertidores Multinivel a Compensadores Estáticos de Potencia Reactiva (STATCOM). Disertación doctoral, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Vedam, S., Sarma, M. (2009). Power Quality VAR Compensation in Power Systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, páginas del Prefacio, 30-31.
- Zhang, X., Rehtanz, C., Bikash, P. (2006). Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, Germany, IX.

**Capítulo XIV. Manual de procedimiento para la implementación del sistema CFEMático.Net V2.3.8.Msi para cajeros de auto - atención en Comisión Federal de Electricidad**

Carlos Jesús Hinojosa Rodríguez, Ramón Rene Palacio Cinco, Egren Ala Soto Sandoval, Alberto Galván Corral y Erica Cecilia Ruíz Ibarra  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [carlos.hinojosa@itson.edu.mx](mailto:carlos.hinojosa@itson.edu.mx)

*Resumen*

El presente artículo describe el desarrollo de un manual de procedimiento para la implementación del sistema CFEMático.Net v2.3.8.msi para cajeros de auto – atención en Comisión Federal de Electricidad, que permita facilitar la operatividad del sistema para lograr un manejo adecuado, de manera oportuna y fácil para los operativos, así como estandarizar la implementación del sistema para los técnicos. Esto debido a que, los operativos no cuentan con una base que respalde y que sirva para la revisión de fallas en el cajero, operaciones de corte de caja, entre otras. La metodología que se siguió fue considerando la etapa 4 del ciclo de vida de desarrollo de sistemas moderno, que es la implementación de sistemas que consiste en: Construir y probar redes y programas; instalar y probar el nuevo sistema; poner en funcionamiento. Como resultado se puede mencionar que se elaboró el manual de procedimiento, con el cual se logró darle al operador de CFEMáticos una visión más clara y objetiva de cada funcionalidad del sistema, ahora el operador no sólo puede realizar un corte de los cobros del cajero, además puede configurar parámetros que antes desconocía, verificar fallas analizando las bitácoras de los eventos, puede reimprimir cortes totales y parciales, entre otras cosas. Con esto, se logra estandarizar los procedimientos de implementación del sistema CFEMático.net para que cualquier técnico pueda realizar de manera sencilla y rápida dicha implementación, además de poder identificar fácilmente errores de procedimientos en caso de que ocurra alguna falla al momento de instalar el sistema.

*Introducción*

Actualmente para que una empresa sea competitiva necesita hacer uso de las tecnologías de información, considerando ésta, como toda herramienta y método empleado para automatizar las entradas, procesamientos y salidas de información de los diferentes procesos de las empresas. Las nuevas tecnologías de información, representan una oportunidad singular en el proceso de democratización del conocimiento, ya que los

usuarios pueden tomar el control de la tecnología, usarla para generar, producir y distribuir bienes y servicios. Por lo cual, podría decirse que las Tecnologías de Información (TI), han abierto un territorio en el cual la mente humana es la fuerza productiva directa de mayor importancia.

La manera en que las empresas intercalan las tecnologías de información y el recurso humano, es la ventaja competitiva que va a obtener, pero ésta, debe de ser de manera acertada con el fin de mantener tales ventajas como una constante, además, es necesario contar con actualizaciones en las Tecnologías de Información y Sistemas de Información (TI/SI) para cumplir con las necesidades que se presenten en el momento y cursos que ayuden al buen manejo de las mismas.

De igual forma, las empresas utilizan sistemas de información, es decir, grupos de elementos utilizados para la administración de datos, los cuales se encuentran coordinados entre sí para su uso posterior. Estos elementos, además, son creados con el objeto de lograr un determinado fin. Desde el punto de vista empresarial, los sistemas de información tienen como propósito perfeccionar las actividades llevadas a cabo en una organización (Porter, 2005).

Por tal motivo, en colaboración con los cuerpos académicos de Gestión Organizacional y Desarrollo Sustentable y Redes y Telecomunicaciones, se han preocupado por generar sinergia con diferentes actores como lo son el Sector Empresarial, Sector Gubernamental y Sector Educativo, generando vinculación para desarrollar proyectos en conjunto con los diferentes sectores, esto con el fin de generar un impacto en la competitividad y productividad.

El caso bajo estudio del presente trabajo, es Comisión Federal de Electricidad, la cual genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica en México. Buscando siempre la mejora en sus procesos, y la satisfacción en atención que brinda a sus clientes, CFE se secciona por divisiones: Norte, Centro-Sur, Centro-Occidente, Oriente, Peninsular, Sureste, Jalisco, Bajío, Centro, Centro-Oriente, Golfo Norte, Baja California, Valle de México Centro, Valle de México Sur, Valle de México Norte y Noroeste. Siendo esta última, la responsable del desarrollo de sistemas, armado o ensamblado de

tecnologías de información que se encuentran instaladas en el departamento de Atención a Clientes en todo el país.

En el año de 1998 la división Noroeste decide crear un área responsable del desarrollo de las TI/SI del departamento de Atención a Clientes llamada CENADECO (Centro Nacional de Desarrollo y Control de CFEMáticos), el cual ha creado diferentes equipos tales como: CFETurno, CFEMatrix, Monivent, CFESensa y CFEMáticos.

De los equipos anteriormente descritos, los de mayor relevancia para la empresa son: CFETurno, ya que mide tiempo y calidad de atención que les brindan los empleados de manera personalizada a los clientes; y CFEMáticos, ya que es una herramienta muy especializada en la auto – atención del cliente, ahorrándose con esto costo de recurso humano y brindándole al usuario disponibilidad de servicio.

Los CFEMáticos han ido modificando y mejorando con el paso de los años, pero no sólo físicamente, sino que también en sus componentes y su sistema. En la actualidad, los sistemas de auto – atención se encuentran trabajando con el paquete de software CFEMático.Net v2.3.8.msi; el cual brinda a los usuarios una manera fácil y práctica de servicio.

Por otro lado, existen diferentes aspectos con los que los empleados de atención al cliente de CFE y los técnicos externos encargados del sistema CFEMático.Net v2.3.8.msi, se enfrentan al momento de interactuar con él:

- No existe una metodología a seguir.
- En ocasiones, no hay apoyo suficiente por parte de los desarrolladores.
- Bajo rendimiento en los indicadores de tiempo activo de CFEMáticos, debido a no contar con los conocimientos suficientes por parte de los operativos.
- No se cuenta con un procedimiento a seguir para los técnicos que lo instalan.
- Y lo más importante, los operativos no cuentan con una base que respalde y que sirva para la revisión de fallas en el cajero, operaciones de corte de caja, alimentación de valores, pruebas de equipo, entre otras.

Dados estos antecedentes, se llega a la siguiente interrogante: ¿Cómo se podría facilitar y eficientar la operatividad e instalación del sistema que utilizan los cajeros de auto – atención en el departamento de Atención a Clientes de CFE?

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es diseñar y elaborar un manual de procedimiento para la implementación del sistema CFEMático.Net v2.3.8.msi para cajeros de auto – atención en Comisión Federal de Electricidad, que permita facilitar la operatividad del sistema para lograr un manejo adecuado, de manera oportuna y fácil para los operativos, así como estandarizar la implementación del sistema para los técnicos.

Como ya se ha mencionado, el uso de las TI/SI son estrategias que proporcionan a la empresa u organización un complemento de mejora continua en el desarrollo de su servicio primordial que es el atender al cliente de la mejor manera.

#### *Fundamentación teórica*

Reboloso (2000), comenta que con las tendencias de las tecnologías de información contribuyen fuertemente a la innovación y productividad en ciertos sectores de la economía, impactando con esto tanto a las organizaciones como a la comunidad.

Giner (2004), menciona que las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) son protagonistas del cambio acelerado que se ha venido presentando en los diferentes sectores, y una forma de evaluar ese cambio, es medir el tiempo promedio que tarda una innovación en convertirse en uso común. En la era industrial ha habido innovaciones pero éstas han tomado su tiempo para extenderse y usarse por la mayoría. En la era de la información y conocimiento, el uso generalizado de las innovaciones es casi inmediato. La incursión en las TIC ha sido más rápida que las innovaciones generadas en la era industrial.

Según Whitten (2003) la implementación de un sistema de información es la construcción o el ensamblaje de la solución al problema, que culmina en un nuevo entorno basado en dicha solución. Una vez implantado, el nuevo sistema se dice que está “en funcionamiento” o “en producción”. En esta etapa del desarrollo del sistema (Ver

figura 1) el analista ayuda a implementar el sistema de información. Esto incluye el entrenamiento de los usuarios para que manejen el sistema, algún entrenamiento es hecho por los proveedores, pero la supervisión del entrenamiento es responsabilidad del analista de sistemas (Kendall, 1997).

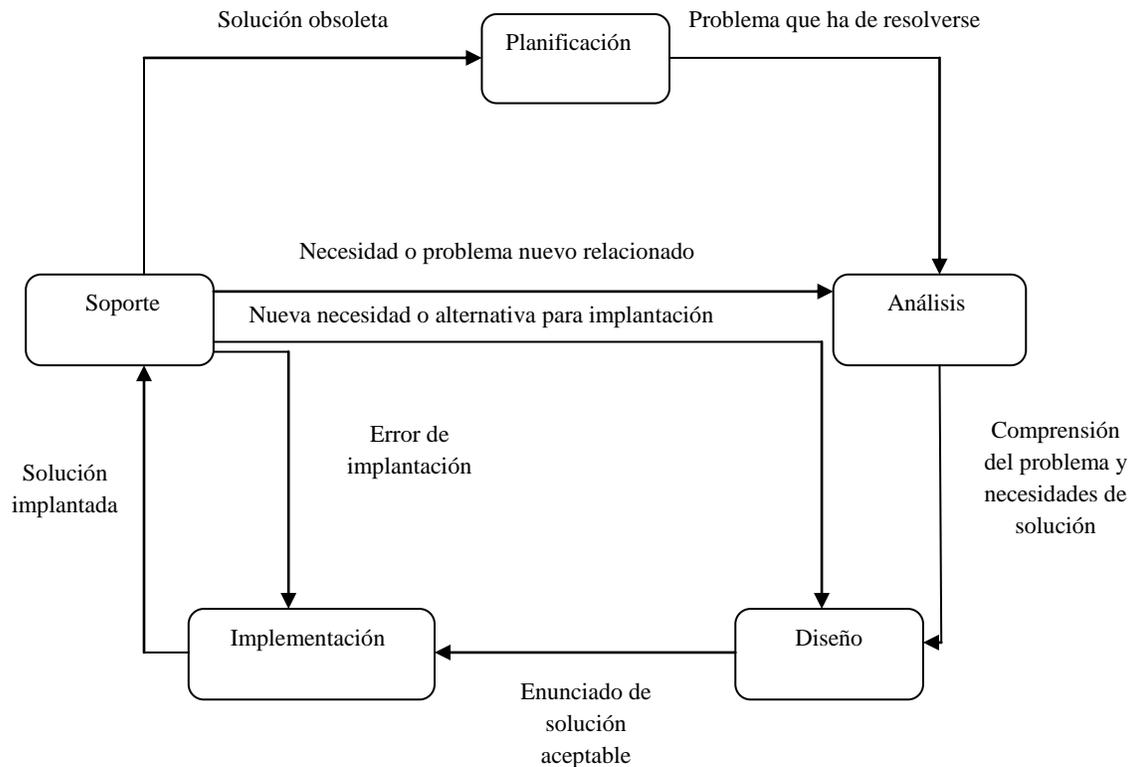


Figura 1. Ciclo de vida del desarrollo de sistemas.

Whitten (2003), además comenta que un sistema de información debe elaborarse cuidadosamente, el desarrollo de buenos sistemas está regido por una serie de principios básicos. Para esto se debe seleccionar el ciclo de vida del desarrollo de sistemas según la naturaleza del proyecto y de la aplicación, los métodos y las herramientas a utilizarse, y los controles y entregas que se requieren. El modelo de pirámide puede cortarse en niveles para poner de relieve las fases clásicas y modernas del ciclo de vida del desarrollo de sistemas. La principal diferencia que existe entre ambos, es que el ciclo de vida moderno está dirigido por la planificación de sistemas. Al descender en la

pirámide, el interés se desplaza desde las cuestiones de empresa a las cuestiones tecnológicas.

El ciclo de vida de desarrollo de sistemas moderno consta de 5 etapas que se mencionan a continuación: Planificación de sistemas, Análisis de sistemas, Diseño de sistemas, Implementación de sistemas y Soporte de sistemas.

### Metodología

El sujeto de estudio de investigación fue Comisión Federal de Electricidad, en el área de CFEMáticos, el procedimiento que se siguió para el desarrollo de este proyecto fue considerando la etapa 4 del ciclo de vida de desarrollo de sistemas moderno, que es la Implementación de sistemas, en la figura 2 se ilustra las fases de una implantación de sistemas típica, en este diagrama de flujo se constituye una ampliación de las fases de implantación de sistemas del desarrollo de sistemas.

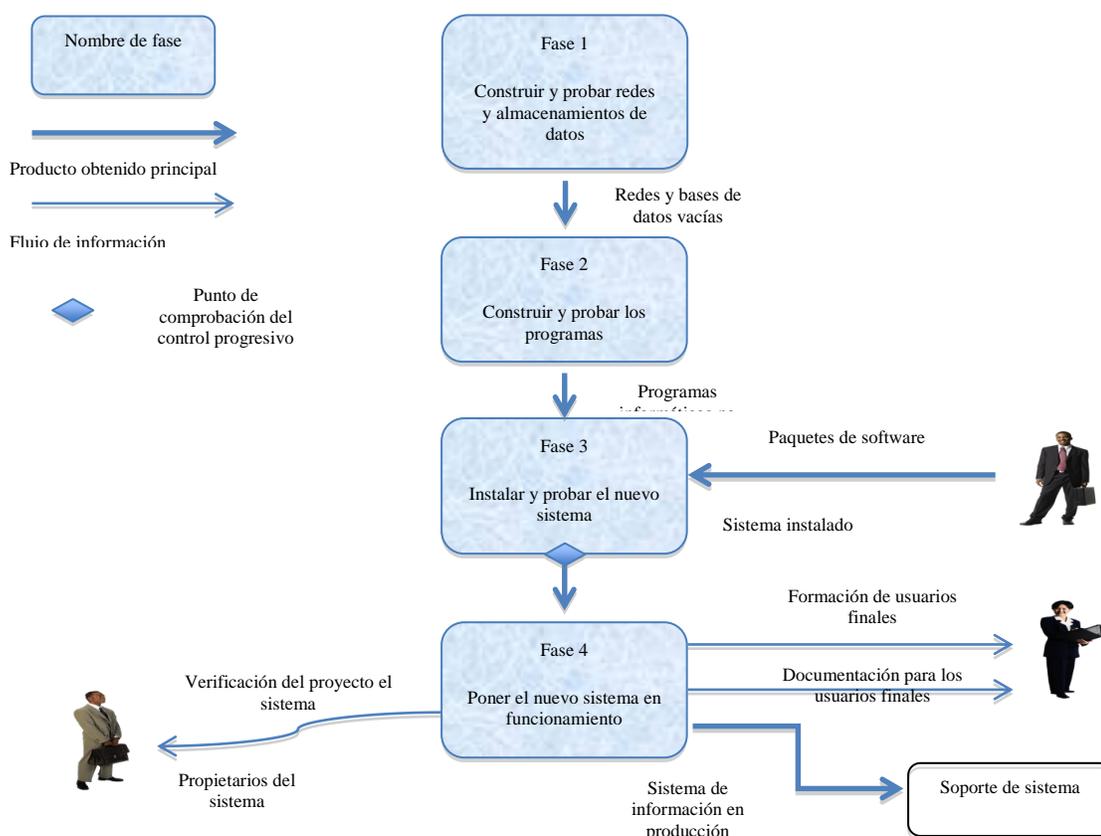


Figura 2. En esta figura se muestra el desarrollo de la etapa de implementación del ciclo de vida.

## Resultados y discusión

Como parte de los resultados de la elaboración del manual de procedimiento para la implantación del sistema de información CFEMatico.net v2.3.8 para cajeros automáticos de Comisión Federal de Electricidad, se describen las 4 fases de la etapa de implementación de acuerdo al ciclo de vida de desarrollo de sistemas moderno.

Para la fase 1 de la implementación: hacer y probar las redes y las bases de datos (si es necesario). Se muestra como configurar el ordenador en la red de intranet de la empresa, utilizando el protocolo de internet versión 4 (tcp/ipv4), además la manera de instalar un manejador de base de datos para la conexión con el servidor de base de datos de la empresa (SQL Server).

Se procede a configurar la red para la conexión con los servidores de base de datos de la empresa, esto considerando el protocolo utilizado y los rangos de dirección IP, Gateway (puerta de enlace) y DNS que se manejan dentro de la intranet de la empresa como se muestra en las siguientes pantallas (Ver figuras de la 3 a la 6).



Figura 3. Centro de redes y recursos compartidos.

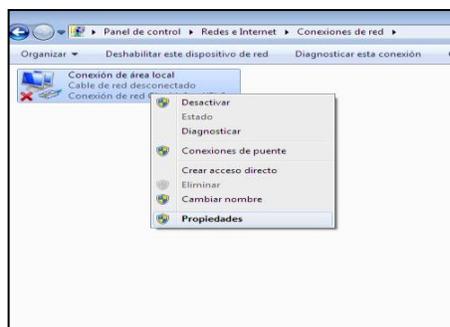


Figura 4. Conexiones de redes.



Figura 5. Configuración avanzada de TCP/IP.

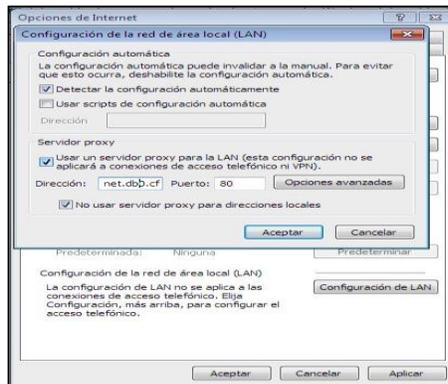


Figura 6. Configuración de la red.

En la fase 2 de la implementación: hacer y probar los programas, se especificaron las configuraciones que se deben de realizar a Windows 7 o Windows XP (ver figura 7 y 8), en ambos sistemas operativos se pueden agregar características propias precargadas como lo es Microsoft message queue server y en el caso de Windows 7 también microsoft.net framework 3.5 sp1.

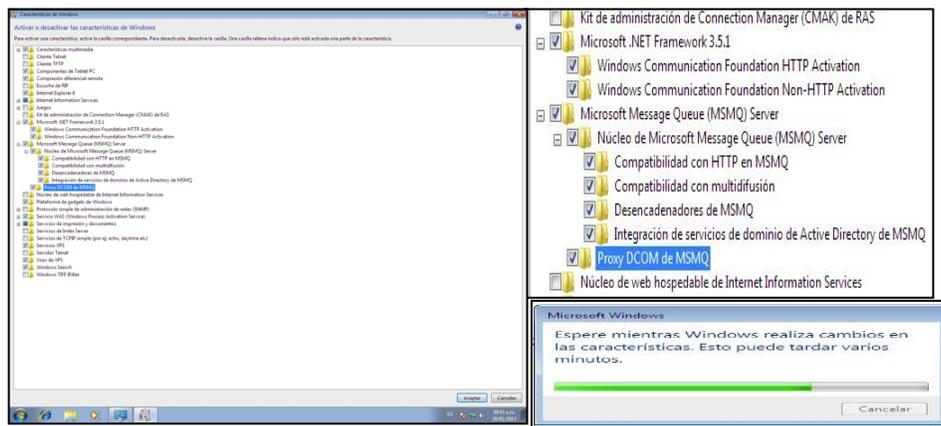


Figura 7. Activación de características de Windows XP.

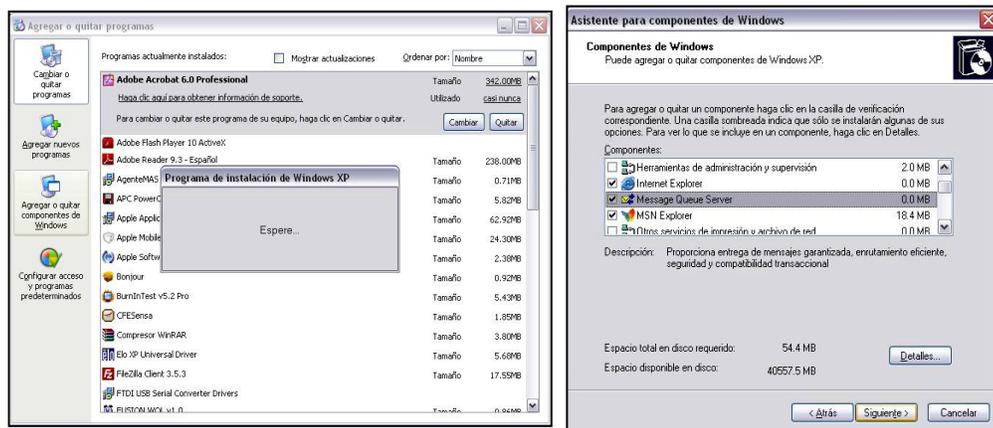


Figura 8. Agregar o quitar componentes.

Para la fase 3 de la implementación: instalar y probar el nuevo sistema. Ya una vez realizado la 1ra y 2da fase de la etapa de implementación de acuerdo al proyecto, se especifica cómo llevar a cabo la instalación y pruebas correspondientes del sistema CFEMatico.net, en esta fase se podrá ver ampliamente la manera adecuada de instalar y operar el sistema, además de las configuraciones necesarias para su puesta en funcionamiento.

En las Figuras 9,10 y 11 se aprecian algunas pantallas de configuración:

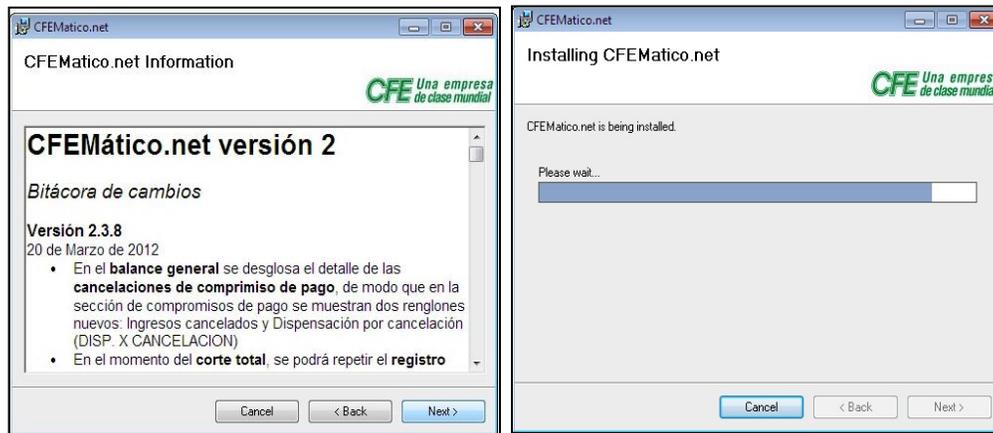


Figura 9. Pantalla de configuración del sistema.

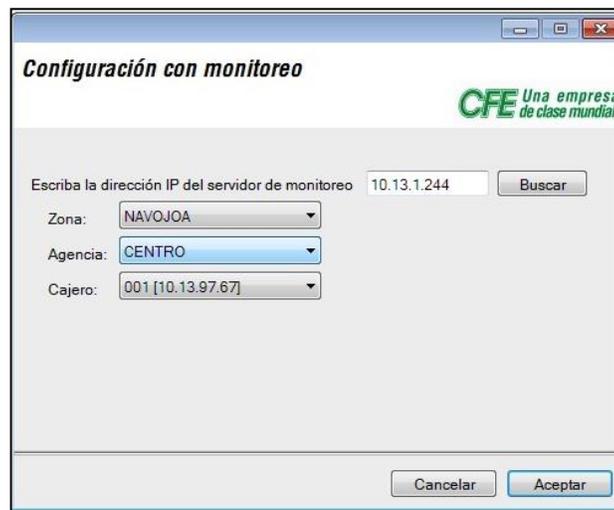


Figura 10. Configuración de IP.



Figura 11. Acceso directo a sistema.

Cuando se inicia el CFEMático el programa revisa que los diversos equipos de valores estén conectados en el puerto COM adecuado, al ser la primera vez que se inicia

la aplicación de CFEMático, el software no trae ningún equipo de valor configurado, por tal motivo se presentará esta condición de error mostrando en pantalla el equipo que se está validando; en este caso mostrará “Equipo en alerta...” y a continuación presentará la pantalla de acceso, donde se debe proporcionar el usuario y contraseña del sistema y presionar “Aceptar”.

En el menú de configuración se maneja toda la parte de configuración de datos del CFEMático ya sea de impresión, de enlaces a servidor, puertos de dispositivos, usuarios, configuración, entre otros. La siguiente imagen muestra la pantalla inicial de configuración, ésta se presenta una vez que proporcionamos el usuario y contraseña correctos.



Figura 12. Menú de configuración.

Para iniciar el correcto funcionamiento del CFEMático es necesario revisar y en caso necesario configurar cada uno de estos valores, la mayoría de estos datos fueron cargados al momento de la instalación, cuando se proporcionó la IP del servidor de monitoreo. En caso de que no se haya podido hacer el enlace los datos que aparecen son erróneos.

Por último en la fase 4 de la implementación: entregar el sistema para su puesta en funcionamiento, se llevó a cabo la entrega de un instalador (Ver Figura 3.78), además del manual el cual contiene todo lo referente a la operatividad del CFEMático.

A continuación en la siguiente figura se puede observar que el sistema ya ha sido implantado en tres diferentes CFEMáticos y se ha puesto en operación con los clientes, por último en donde el operativo se encuentra explorando la opción de configuración del sistema y cada uno de sus parámetros a configurar.

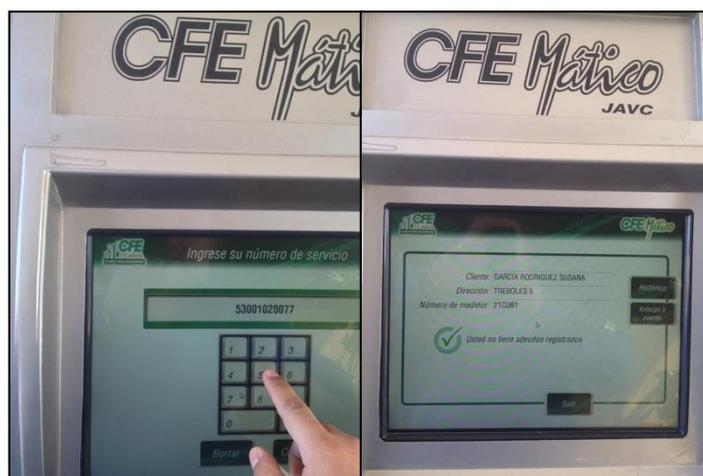


Figura 13. Configuración del sistema instalado.

Se puede apreciar, que el manual apoyará a los técnicos en no depender de otra persona para implementar el sistema, así como también en dar solución rápida a los errores que se presenten para que el cajero este en buen funcionamiento y a su vez dar un mejor servicio.

### Conclusiones

Con la elaboración de este manual, se logró darle al operador de CFEMáticos una visión más clara y objetiva de cada funcionalidad del sistema, ahora el operador no solo puede realizar un corte de los cobros del cajero, además puede configurar parámetros que antes desconocía, verificar fallas analizando las bitácoras de los eventos, puede reimprimir cortes totales y parciales entre otras cosas más que están en este manual.

Además, permite estandarizar los procedimientos de implementación del sistema CFEMático.net, para que cualquier técnico en CFEMáticos pueda realizar de manera sencilla y rápida dicha implementación, además de poder identificar fácilmente errores de procedimientos en caso de que ocurra alguna falla al momento de instalar el sistema.

En este proyecto no solo se describen los procedimientos para realizar una implementación de un sistema, también se puede encontrar las limitaciones que se tienen al implementarlo y los alcances que se pueden lograr, ejemplo de ello es la plataforma en donde se debe de instalar el sistema CFEMático.net, solo es compatible para sistemas operativos de Microsoft Windows XP y 7, los requerimientos, así como las contraseñas en la operación son también limitantes al momento de querer configurar algunos parámetros del sistema. Pero además también se mencionan específicamente los alcances que puede tener el operador al conocer todo acerca de la parte operativa del software. Con este proyecto se generó un procedimiento que paso a paso lleva al éxito de la implementación del sistema y su operatividad.

Por otro lado, se recomienda que se dé un proceso de evaluación con el uso del manual, para determinar si realmente se está generando una mejor operatividad del sistema e impactando en servicio, ya que el alcance de la investigación fue solo el diseño y elaboración del manual.

### *Referencias*

- Giner, F. (2004). *Los Sistemas de Información en la Sociedad del Conocimiento*. Madrid: ESIC.
- Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (1997). *Análisis y diseño de sistemas (tercera edición)*. Pearson educación.
- Poter, M. E. (2005). *Ser competitivo (edición actualizada)*. Harvard Business School Press.
- Reboloso, R. (2000). *La Globalización y las Nuevas Tecnologías de Información*. México: Trillas
- Whitten, J. L., Bentley, L. D., & Barlow., V. M. (2003). *Análisis y diseño de sistemas de información (tercera edición)*. Mc Graw Hill.

## ÍNDICE DE AUTORES

### **A**

Acosta Quiroz, Christian Oswaldo	77
Ambrosio López, Armando	149, 160
Aragón Millanes, Enrique	161
Arellano Gil, Maritza	9

### **B**

Balderas Cortés, José de Jesús	46
Beristáin Jiménez, José Antonio	149, 160
Bernal Reza, Miguel Ángel	121

### **C**

Calderón Soto, Lorena	91
Canales Elorduy, Armando Gabriel	108
Cano Carrasco, Adolfo	136
Campoy Salguero, José Manuel	121
Cira Chávez, Luis Alberto	33

### **D**

Díaz Tenorio, Lourdes Mariana	33
-------------------------------	----

### **E**

Echeverría Castro, Sonia Beatriz	77
Encinas Yepiz, David Heberto	108
Estrada Alvarado, María Isabel	33, 55

**F**

Flores Moreno, Pedro Julián	<b>64</b>
Fornés Rivera, René Daniel	<b>136</b>

**G**

Galván Corral, Alberto	<b>174</b>
García Flores, Raquel	<b>77</b>
Gassós Ortega, Laura Elisa	<b>33, 55</b>
Gómez García, Gilberto	<b>9</b>
González Román, Marisela	<b>91</b>
Gortáres Moroyoqui, Pablo	<b>21</b>

**H**

Hernández Corral, Edna Abigail	<b>33</b>
Hinojosa Rodríguez, Carlos Jesús	<b>173</b>
Holguín Soto, Raúl	<b>55</b>

**I**

Ibarra Gil, Yarir del Carmen	<b>55</b>
Islas Escalante, Luis Alonso	<b>108</b>

**L**

Larios Ibarra, Moisés Ricardo	<b>136</b>
-------------------------------	------------

**M**

Madueño Serrano, María Luisa	<b>91</b>
Márquez Ibarra, Lorena	<b>91</b>

Meza Escalante, Edna Rosalba	21
Meza Montenegro, María Mercedes	46
Mondaca Fernández, Iram	46
Mungarro Ibarra, Catalina	9
<b>O</b>	
Osorio Gutiérrez, Arturo	64
<b>P</b>	
Palacio Cinco, Ramón Rene	173
Peñuelas Rubio, Ofelda	9
Pérez Ramírez, Javier	150, 160
Pizá Gutiérrez, Reyna Isabel	91
Pizarro Lerma, Andrés Othón	121, 160
<b>Q</b>	
Quintero Portillo, Hebert David	64
<b>R</b>	
Rentería Mexía, Ana María	21
Reyes Blanco, Blanca Lorenia	55
Rodríguez Ramírez, Roberto	46
Romero Pardini, Francisco Javier	136
Ruiz Cruz, Saúl	33
Ruíz Ibarra, Érica Cecilia	173

**S**

Serna Gutiérrez, Araceli	<b>64</b>
Serrano Encinas, Dulce María de Jesús	<b>77</b>
Serrano Palacios, Denisse	<b>21</b>
Serrano Valenzuela, Rogelio Antonio	<b>136</b>
Solórzano Meza, José Luis Antonio	<b>46</b>
Soto Cota, Adolfo	<b>121</b>
Soto Mata, Luis Enrique	<b>149</b>
Soto Sandoval, Egren Ala	<b>173</b>

**T**

Toledo Domínguez, Iván de Jesús	<b>64</b>
---------------------------------	-----------

**U**

Ulloa Mercado, Ruth Gabriela	<b>21</b>
------------------------------	-----------

**V**

Vales García, Javier José	<b>77</b>
Velázquez Nieblas, Carlos	<b>108</b>
Verdugo González, Edgar	<b>9</b>

*“Avances de Investigación de Cuerpos Académicos”* se terminó de editar en junio de 2013 en la Coordinación de Desarrollo Académico del ITSON en Ciudad Obregón Sonora, México.

El tiraje fue de 200 ejemplares impresos y 200 cd's más sobrantes para reposición.



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender