

# Investigación Universitaria

## Avances y Resultados



**ITSON**  
Educar para  
Trascender

COMPILADORES  
**José Antonio Beristáin Jiménez**  
**Juan Francisco Hernández Chávez**  
**Marisela González Román**  
**Beatriz Eugenia Orduño Acosta**

*COMPILADORES*

José Antonio Beristáin Jiménez

Juan Francisco Hernández Chávez

Marisela González Román

Beatriz Eugenia Orduño Acosta

**Investigación Universitaria**  
*Avances y Resultados*



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

2015, 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) 410-90-00

Primera edición 2015  
Hecho en México

ISBN: **978-607-609-146-3**

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):

Cano, A., Fornés, R., Peñúñuri, S., Lázaro, P. y Mendoza, R. (2015). *Evaluación del funcionamiento de la Comisión de Seguridad e Higiene de una Institución de Educación Superior*. En J. Beristáin, J. Hernández y González M. (Comp.). *Investigación Universitaria. Avances y Resultados*. (pp. 9-19). 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

**Mtra. Jesús Nereida Aceves López**

Dirección Académica de Ciencias Económico-Administrativas

**Dr. Joaquín Cortez González**

Dirección Académica de Ingeniería y Tecnología

**Dr. Fernando Lares Villa**

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

**Dr. Mario Alberto Vázquez García**

Dirección Unidad Guaymas

*COLABORADORES*

**Edición literaria**

Dr. Adolfo Soto Cota

Dra. Sonia Verónica Mortis Lozoya

Dra. Reyna Isabel Pizá Gutiérrez

Dr. Omar cuevas Salazar

Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

Mtra. Claudia Selene Tapia Ruelas

**Tecnología y diseño**

Lic. Beatriz Eugenia Orduño Acosta

Marco Alejandro Cruz Muñoz

**Gestión editorial**

*Oficina de Publicaciones*

Mtra. Marisela González Román

**Comité técnico científico**

Dr. Jesús Héctor Hernández López

Mtra. Reyna Isabel Pizá Gutiérrez

Mtra. Marisela González Román

Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

*COLABORADORES*

**Comité científico de arbitraje**

Dr. Adolfo Soto Cota

Dra. Claudia Álvarez Bernal

Dr. Carlos Jesús Hinojosa Rodríguez

Dra. Elizabeth Del Hierro Parra

Dra. Elsa Lorena Padilla Monge

Dra. Edna Rosalba Meza Escalante

Dra. Grace Marlene Rojas Borboa

Dra. Isolina González Castro

Mtro. Javier Portugal Vásquez

Dr. Joel Angulo Armenta

Dr. José Antonio Beristáin Jiménez

Mtro. José Dolores Beltrán Ramírez

Dr. Juan Francisco Hernández Chávez

Mtro. José Fernando Lozoya Villegas

Mtra. Laura Elisa Gassós Ortega

Dra. María del Carmen Vásquez Torres

Mtra. Marisela González Román

Mtra. Nora Edith González Navarro

Dra. Sonia Verónica Mortis Lozoya

## *PRÓLOGO*

La generación y aplicación del conocimiento, a través de la innovación en sus procesos, el impacto de sus investigaciones y la transferencia de tecnología para el desarrollo sostenible de la sociedad; es parte de la esencia y funciones sustantivas del Instituto Tecnológico de Sonora y se observan enunciados en su filosofía institucional.

Por ello dar a conocer los avances de sus resultados, obtenidos en sus modernos laboratorios o en la práctica de sus procedimientos científicos en campo, es poner a disposición de las comunidades aledañas a la universidad, o a la industria de la región, aportes para mejorar sus procesos, comprobados y validados por los Cuerpos Académicos.

El libro *Investigación Universitaria. Avances y Resultados*; compila y presenta a ustedes algunos de esos esfuerzos; confiados en que serán útiles a los interesados y sencillos en su interpretación; en cumplimiento de nuestra filosofía.

**Dr. Jesús Héctor Hernández López**  
Vicerrector Académico  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Junio, 2015

ÍNDICE

<i>Capítulo I. Evaluación del funcionamiento de la Comisión de Seguridad e Higiene de una Institución Educativa Superior.</i> Adolfo Cano Carrasco, René Daniel Fornés Rivera, Sandra Armida Peñúñuri González, Paola Karina Lázaro Contreras y Roberto Edmundo Mendoza Ibarra.	9
<i>Capítulo II. Estudio de filtros pasivos de potencia de corrientes armónicas.</i> Rafael León Velázquez, Javier Pérez Ramírez, Clarissa Nallely Acosta Campas y Javier Osvaldo Montes Manríquez.	22
<i>Capítulo III. Diseño y operación de un generador de hidrógeno de placas secas por electrólisis alcalina.</i> Ismael Murillo Verduzco, Rafael Alfonso Figueroa Díaz, Manuel Herrera Sarellano, Manuel Norberto Montoya Quezada y Jorge Saldívar Cabrales.	33
<i>Capítulo IV. Delimitación de micro cuencas urbanas topográficas.</i> Arturo Cervantes Beltrán, José Dolores Beltrán Ramírez, Jesus Antonio Ponce Zavala, Dagoberto López López y Francisco Enrique Montaña Salas.	44
<i>Capítulo V. Beneficios y perjuicios de la quema del follaje del cultivo del espárrago (<i>Asparagus officinalis L.</i>) en el Valle del Yaqui, Sonora.</i> Perla Alejandrina González Tineo y Yedidia Villegas Peralta.	54
<i>Capítulo VI. Prevalencia de <i>Helicobacter pylori</i> en niños y adolescentes de 5 a 15 años en la comunidad yaqui de Tetabiate, Sonora.</i> José de Jesús Balderas Cortés, María Mercedes Meza Montenegro, Christian Beatriz Vega Millán, Iram Mondaca Fernández.	66
<i>Capítulo VII. Evaluación de indicadores de salud en perros domésticos obesos con predisposición a Síndrome Metabólico.</i> Juan Francisco Hernández Chávez, Nora Alejandrina López Salinas, Javier Arturo Munguía Xóchihua, María Guadalupe Leyva García y Lourdes Mariana Díaz Tenorio.	78
<i>Capítulo VIII. Empleando la investigación para determinar la concentración de residuos de plaguicidas organoclorados por el Método Oficial de la AOAC 970.52 por cromatografía de gases, presentes en leche bronca de ganado bovino de la posta 910 del ITSON en Ciudad Obregón, Sonora.</i> Raúl Holguín Soto, José Luis Agüero Paredes, Blanca Lorenia Reyes Blanco y Roberto Rodríguez Ramírez.	91

- Capítulo IX. Quelación de Fe<sup>+2</sup> y Cu<sup>+2</sup> mediante los productos de la reacción de Maillard.** Roberto Rodríguez Ramírez, Jaime López Cervantes, Dalia Isabel Sánchez Machado, José de Jesús Balderas Cortes y Juan Bautista Flores Quezada. 106
- Capítulo X. Obtención de compuestos bioactivos por vía enzimática a partir de sustratos vegetales no convencionales.** María Isabel Estrada Alvarado, Luis Alberto Cira Chávez, Laura Elisa Gassós Ortega, Lourdes Mariana Díaz Tenorio, Saúl Ruiz Cruz y Carlos Sañudo Ruíz. 116
- Capítulo XI. Inoculante biotecnológico para semillas y su efecto en la etapa inicial de algodón (Gossypium hirsutum), frijol (Phaseolus vulgaris), maíz (Zea maíz) y trigo (Triticum aestivum): experiencias del cuerpo académico de Biotecnología Agrícola.** Maritza Arellano Gil, Catalina Mungarro Ibarra, Ofelda Peñuelas Rubio, Abel Alberto Verdugo Fuentes y Marco Antonio Gutiérrez Coronado. 123
- Capítulo XII. Efecto del escalamiento del cultivo en Tetraselmis suecica cultivada con adición de Mg-Si-Sr.** Ruth Gabriela Ulloa Mercado, Pablo Gortáres Moroyoqui, Ana María Rentería Mexía, Edna Rosalba Meza Escalante, Teineric Micheli Castro Urias y Mariela Grageda Valenzuela. 136
- Resumen. Aclimatación del camarón blanco, Litopenaeus vannamei, con agua subterránea de pozo de baja salinidad.** Rosita de Lourdes Nogales Acuña, Ramón Casillas Hernández, Diana Laura Mercado Cuen, Beatriz Cecilia Sánchez Leyva y Amada Zulé Rodríguez Corral. 148

## Capítulo I. Evaluación del funcionamiento de la Comisión de Seguridad e Higiene de una Institución Educativa Superior

Adolfo Cano Carrasco, René Daniel Fornés Rivera, Sandra Armida Peñúñuri González,  
Paola Karina Lázaro Contreras y Roberto Edmundo Mendoza Ibarra

Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [adolfo.cano@itson.edu.mx](mailto:adolfo.cano@itson.edu.mx)

### **Resumen**

La seguridad e higiene es un factor de suma importancia desde el inicio del tiempo, ya que todo trabajo implica un riesgo el cual debe ser evitado. Las Instituciones de educación superior, tienen conflictos en materia de seguridad e higiene, para solucionar problemas por incidentes, accidentes o simplemente en la prevención de estos. Esta investigación determina el grado de cumplimiento respecto a los requisitos de la NOM-019-STPS, respecto del funcionamiento de la CSH por lo que el objetivo planteado para este proyecto fue: “Evaluar el funcionamiento de la CSH en base dicha norma, para determinar su nivel de cumplimiento”. Se utilizó el método Deming con las fases: Planear, Ejecutar, Verificar y Actuar. Los resultados muestran que la comisión no ha estado desarrollándose como establece la NOM-019-STPS, el cumplimiento en relación a la parte patronal fue 72.31%, por parte de los trabajadores 80.29% y por parte de la CSH 73.10%. El cumplimiento global fue 75.23%, lo cual indica que la CSH debe tomar medidas para su mejoramiento.

*Palabras clave:* seguridad e higiene, Comisión de Seguridad e Higiene, NOM-019 STPS.

### **Introducción**

La seguridad y la higiene en el trabajo son aspectos importantes en el desarrollo de la vida laboral de la empresa. Su regulación y aplicación son impredecibles para mejorar las condiciones de trabajo. Este conocimiento es necesario en los trabajadores, pero aún más para los mandos responsables de las empresas, puesto que son los que deben conseguir que cada acto productivo se realice con la máxima productividad, y ello no sería posible si se admitiesen pérdidas (humanas o de la propiedad) en su realización (Rodellar, 1988). Es por ello y con el paso del tiempo, que las instituciones han prestado mayor importancia al tema de la seguridad e higiene laboral, brindando capacitación al trabajador e inculcándole una cultura de seguridad mediante programas integrales de seguridad e higiene, auspiciados por las leyes y las organizaciones empresariales y sindicales, contribuyendo a un ambiente de trabajo seguro pero sobre todo, protegiendo la integridad del trabajador.

La participación de los patrones y los trabajadores es determinante para estructurar y ejecutar medidas preventivas, acorde a las situaciones de riesgo en los centros de trabajo. Con el propósito de garantizar esta participación, se han establecido las Comisiones de Seguridad e Higiene en el Trabajo, organismos que se encargan de vigilar el cumplimiento de la normatividad en este campo y de promover la mejoría de las condiciones en las que se desarrollan las actividades laborales. Según lo establecido en el artículo 509, de la Ley Federal de Trabajo emitida por el gobierno de México expresa: "En cada empresa o establecimiento se organizarán las Comisiones de Seguridad e Higiene que se juzgue necesarias, compuestas por igual número de representantes de los trabajadores y del patrón, para investigar las causas de los accidentes y enfermedades, proponer medidas para prevenirlos y vigilar que se cumplan" (Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 1970).

En el estado de Sonora en el año 2011 ocurrieron 16,542 accidentes de trabajo, 142 enfermedades profesionales, quedando con alguna incapacidad por accidente de trabajo 890 personas (STPS, 2012). En Cajeme la información más reciente que se tiene es en el año 2009 donde se registraron 4 mil 2 accidentes de los cuales 3 mil 284 fueron dentro de la empresa y 709 en el trayecto del hogar a la empresa. El 80 por ciento de los accidentes de trabajo que se presentaron durante ese mismo año ante el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), son producto del descuido del empleado (Valdivia, 2011). Posiblemente para los académicos esos conceptos les suenen más propios de las fábricas y las industrias, mas no es así ya que también en el ámbito universitario aplican estos conceptos. Sin embargo, a pesar de que algunos laboratorios de las universidades manipulan sustancias y elementos de alto cuidado, hoy en el ámbito universitario existe una llamativa orfandad de normativa (Hojman, 2007).

En el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) nace en 1994 la primer CSH la cual fue formada con el propósito de mejorar las condiciones de seguridad e higiene en el área de trabajo de los empleados, usuarios y estudiantes del Instituto Tecnológico de Sonora, así como la optimización de los recursos y el cumplimiento de la normatividad oficial existente al respecto, con la finalidad de preservar el bienestar y la salud general de la comunidad universitaria. Cortés, Fornés, González, Cano y Peñuñuri (2012) en una encuesta realizada durante el semestre Enero-Mayo 2012 a los docentes y técnicos que laboran en los laboratorios ITSON arrojó que actualmente tanto los técnicos como los docentes sí tienen

noción sobre la seguridad e higiene en materia de conceptos básicos, en cambio en la situación real que se vive al momento de realizar las actividades educativas existen riesgos provocados por actos inseguros y condiciones inseguras que requieren atención.

Dentro de la CSH ITSON Campus Náinari hay procesos que se realizan semestralmente para garantizar la seguridad dentro del instituto realizando verificaciones a edificios del campus Náinari. La falta de comunicación, de cumplimiento, de participación, entre otros aspectos, son cualidades que hacen que los procesos de gestión que actualmente realiza la comisión sean deficientes y no cumplan totalmente con lo que se requiere (Cano, Fornés, Zazueta, Beltrán y González, 2014). De lo anterior se establece como problema de investigación el desconocimiento del nivel de cumplimiento de la CSH en relación a la NOM-019-STPS. Fijándose como objetivo evaluar el funcionamiento de la CSH en base a la NOM-019-STPS, para determinar el nivel de cumplimiento de acuerdo a los requisitos que dicha norma exige.

### ***Fundamentación teórica***

En la edad contemporánea el desarrollo industrial llenó de peligros el trabajo para la población laboral, las medidas de seguridad no existían o eran ignoradas por parte de los propietarios de las fábricas para el manejo de máquinas, motivo por el cual en 1884, Lehmann “sienta las bases para el aspecto preventivo de las enfermedades de trabajo y el control del ambiente industrial” (Quintana, 2003).

En efecto, las revoluciones industriales desde el siglo XVI no han frenado los cambios en las maneras de producir los bienes, ni tampoco han frenado la multiplicación, tanto cualitativa como cuantitativa, de los riesgos que puede enfrentar un trabajador con motivo de su trabajo. Esta constante a lo largo de la historia ha derivado, en el terreno del derecho del trabajo, en la necesidad de contar con un aparato normativo que atienda los diferentes aspectos que se derivan de tal situación (Reynoso, 2005).

En un comienzo la prevención de riesgos laborales se limitaba a la práctica de la higiene industrial y posteriormente a la medicina del trabajo; con la salud ocupacional se mantuvieron estas dos modalidades de intervención en las empresas con la participación simultánea de profesionales de las áreas de ingeniería y salud. Hoy día, el Sistema General de Riesgos Laborales se transforma integrando estos dos campos técnicos con la

incorporación de aspectos administrativos y de gestión en sus procesos internos (Molano y Arévalo, 2013).

Bajo esta perspectiva es que Draais, Favaro y Aubertain (2008) citados por Molano y Arévalo (2013) señalan que “los dos factores clave del éxito para el verdadero desarrollo de la prevención en las organizaciones están dados por una fuerte integración de la salud y la seguridad, en el funcionamiento de la empresa y la gestión de los riesgos centrada en las situaciones de trabajo (p. 24)”.

En Canadá, por ejemplo, la ley sobre la salud y la seguridad del trabajo, establece que un comité de salud y de seguridad puede formarse en los establecimientos que agrupen a más de veinte trabajadores que pertenezcan a una categoría identificada con ese fin. Así mismo, en Francia por ejemplo, el comité de higiene, seguridad y condiciones de trabajo es obligatorio en aquellas empresas que cuentan con por lo menos 50 trabajadores; se trata de una instancia bilateral e interna a la empresa que tiene una misión general de contribuir a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores. En el caso de México, la Ley Federal del Trabajo (ley en lo sucesivo) le da al tema una gran importancia, al establecer que entre las obligaciones que tiene un empleador está, precisamente en el artículo 132, fracción XXVIII (Reynoso, 2005).

Las CSH son organismos previstos por la Ley Federal del Trabajo, en la Norma NOM 019 y contribuyen a la prevención de riesgos a través de recorridos de verificación esto promueve el mejoramiento de las condiciones de seguridad del personal y de las áreas de trabajo, detectando actos y condiciones inseguras que pueden ocasionar accidentes que en algunos casos pueden ser fatales, garantizando con estas acciones la instauración de una política de mejora continua, así como mantener un ambiente de trabajo seguro y confiable. El marco legal del cual se desprenden las comisiones de seguridad e higiene proviene de la Ley Federal del Trabajo en su Artículo 509.y 510. A su vez En el Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo en su Artículo 123, “la STP Social, promoverá la integración y funcionamiento de las Comisiones de Seguridad e Higiene en los centros de trabajo”. También incluye en el Artículo 124 que “la Secretaría determinará la organización de las Comisiones, a través de la Norma correspondiente”. Adicionalmente en el Artículo 125 expresa “la CSH deberá constituirse en un plazo no mayor de treinta días a partir de la fecha de iniciación de las actividades en la empresa o establecimiento”. Por

otra parte el Artículo 126 establece las actividades que deben realizar los integrantes de la CSH (Sarabia, 2011).

De acuerdo a Velásquez (2001), la seguridad e higiene en las organizaciones es un elemento para lograr niveles de calidad y productividad requeridos en los momentos actuales. Este precisa del diagnóstico sistemático para la elaboración de planes de acción que permitan la eliminación de los problemas existentes en este campo a través de la ejecución de programas de auditorías que incluye procedimientos que involucran pruebas de cumplimiento o pruebas sustantivas, las de cumplimiento se hacen para verificar que los controles funcionan de acuerdo a las políticas y procedimientos establecidos y las pruebas sustantivas verifican si los controles establecidos por las políticas o procedimientos son eficaces (Molano y Arévalo, 2013).

Las acciones de prevención, la capacitación y el manejo de emergencias, la reacción e intervención durante y después de la crisis exigen la participación comprometida de todos los miembros de la comunidad escolar, en coordinación con las autoridades educativas, los cuerpos de seguridad y las autoridades locales. Ante una crisis de seguridad resulta insuficiente aplicar estrategias y protocolos de reacción, la escuela debe ser arropada por la comunidad y protegida por las autoridades e instituciones relacionadas con la seguridad pública, así como los cuerpos de emergencia y protección civil de manera rápida y efectiva, SEP (2011).

Uno de los países que ha realizado acciones encaminadas para la prevención de riesgos de trabajo, a los trabajadores y empresarios del sector de la enseñanza ha sido España a través de la Federación de Trabajadores de la Enseñanza de la Unión General de Trabajadores (FETE-UGT) y expresa que , es necesario desarrollar estrategias e instrumentos encaminados a mejorar la situación preventiva de trabajadores y empresarios, estableciendo mecanismos que faciliten la aplicación de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en todos sus términos: evaluaciones de riesgos, planes de prevención, formación e información a trabajadores y empresarios, revisiones médicas, planes de emergencia y evacuación, etc.

Desde la perspectiva del sector educativo, diversos estudios realizados por FETE-UGT (s/f), han detectado que: Un 30% de los trabajadores del sector no conoce la existencia de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. El 66% afirma no haber recibido

ningún tipo de información relativa a los riesgos asociados a su puesto de trabajo. El profesional del centro no es consciente del conjunto de riesgos laborales que le pueden afectar en su trabajo de lo cual la aplicación de la prevención de riesgos laborales en los centros educativos, es muy baja, con un gran desconocimiento de la existencia de la Evaluación de Riesgos o el Plan de Prevención.

### **Metodología**

Se identificaron las autoridades y las actividades que denotan su responsabilidad en la norma NOM019-STPS. Se elaboraron instrumentos de investigación para tres muestras constituidas por los miembros de la comisión, los trabajadores y los responsables de edificios. Su elaboración se hizo a partir de las responsabilidades identificadas en cada autoridad contempladas en la norma y la escala utilizada fue Likert de cinco puntos: nunca, casi nunca, a veces, casi siempre, siempre, con valor de 1 a 5 correspondientemente. Para la aplicación de los instrumentos se hizo un censo a los miembros de la comisión y un sondeo a los trabajadores y responsables de edificios. Para interpretar los resultados se agruparon los ítems considerados en los instrumentos en rubros de actividad necesarios para la operación de la CSH, véase la Tabla 1.

Tabla 1. Rubros de actividad por autoridad contemplados en la norma 019 STPS.

	OBLIGACIONES		
	<b>Patrón desde la perspectiva del Trabajador</b>	<b>Trabajador desde la perspectiva del Trabajador</b>	<b>CSH desde la perspectiva de sus miembros</b>
CATEGORÍA	Difusión	Participación	Organización
	Documentación	Difusión	Planeación
	Gestión de Recursos	Control	Ejecución
	Organización	Capacitación	Capacitación
	Planeación		

Se generaron propuestas de acción considerando su prioridad con la clasificación de riesgos propuesta por Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales (s/f), mostrados en la Figura 1.

**Niveles de riesgo**

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Figura 1. Clasificación de riesgos laborales en materia de seguridad e higiene.  
Fuente: Ministerio Del Trabajo y Asuntos Sociales.

### Resultados y discusión

En relación al desempeño de los trabajadores en las actividades relativas a la Seguridad e Higiene y establecidas en la norma 019-STPS, ver Apéndice A, y la Figura 2 hacen alusión al desempeño observado desde la perspectiva de los trabajadores poniéndose de manifiesto un área de oportunidad en el rubro de Difusión y Capacitación. El resultado del análisis de fiabilidad demostró un alfa de Cronbach de 0.77, lo cual demuestra una alta consistencia en los datos.

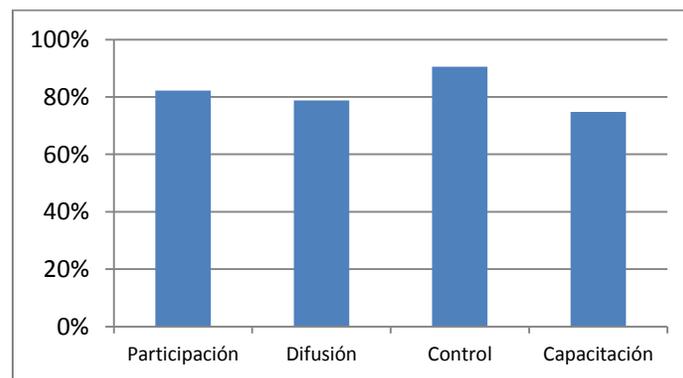


Figura 2. Obligaciones de los trabajadores respecto del trabajador.

En relación a las obligaciones de la CSH se puede observar un área de oportunidad en cuanto a Planeación y Ejecución que los trabajadores los cuales necesitan una mayor capacitación en temas relativos a seguridad e higiene en el trabajo; sin embargo también se ve deficiente la difusión y el control en las recomendaciones hechas por la CSH. La Figura 3 muestra los resultados de la aplicación del instrumento a miembros de la comisión acerca

de las responsabilidades relacionadas con la CSH. El resultado del análisis de fiabilidad demostró un alfa de Cronbach de 0.843, lo cual demuestra una alta consistencia en los datos.

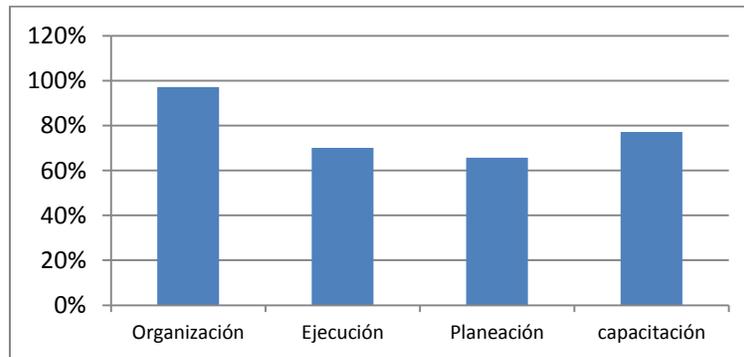


Figura 3. Obligaciones de la comisión respecto de sus miembros.

Los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento a los trabajadores en relación a las responsabilidades del patrón en los rubros de Difusión, Planeación, Documentación, Gestión de Recursos y Organización fueron deficientes; cabe señalar que debido a que no existe un reglamento interno que rijas las actividades y responsabilidades necesarias para la operación de la CSH éstas reflejan un desempeño deficiente. El resultado del análisis de fiabilidad demostró un alfa de Cronbach de 0.902, lo cual demuestra una alta consistencia en los datos.

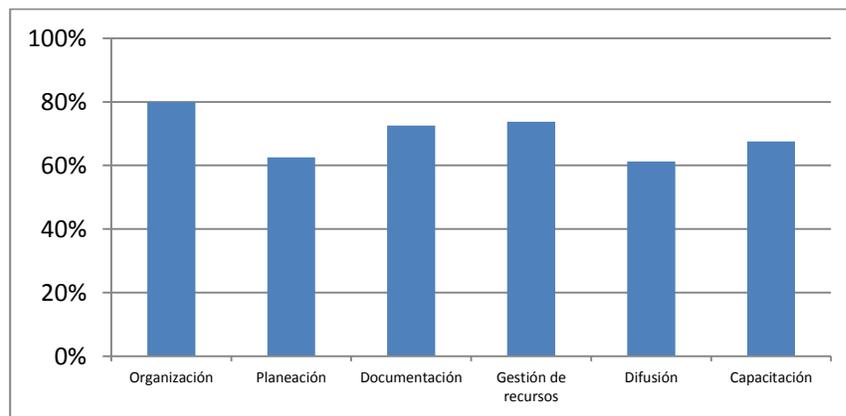


Figura 4. Obligaciones del patrón respecto del trabajador.

Las acciones recomendadas se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Acciones recomendadas.

Acciones	Nivel de prioridad
▪ Gestionar por escrito los recursos necesarios para la operación de la comisión dejando copia en archivo.	IMPORTANTE
▪ Establecer un programa anual de recorridos de verificación.	SEVERO
▪ Crear un plan para dar seguimiento a las medidas propuestas por la comisión, derivadas de los recorridos de verificación.	SEVERO
▪ Brindar capacitaciones actualizadas a los integrantes de la comisión al menos semestralmente.	IMPORTANTE
▪ Crear actas donde establezca los roles y actividades de cada integrante, así como contar con un acta donde indique donde se realizó el recorrido, fecha, responsable de área, etc.	SEVERO
▪ Realizar informe de resultados por periodos de gestión, Solicitar la participación del sindicato, para la designación de roles dentro de la CSH, Cuando se requiera.	TRIVIAL
▪ Brindar información acerca de seguridad y salud en el trabajo, actualizada acerca de la STPS.	SEVERO
▪ Tomar en cuenta la opinión de los trabajadores y asegurarse de que lo propuesto sea llevado a cabo.	MODERADO
▪ Monitorear la seguridad en el trabajo a través de la ayuda de todo el personal y un buzón electrónico.	IMPORTANTE
▪ Establecer un programa anual de recorridos de verificación.	SEVERO
▪ Elaborar programa de verificaciones, Realizar el diagnostico de seguridad e higiene de centro de trabajo, Monitorear las acciones correctivas.	IMPORTANTE
▪ Realizar recorridos extraordinarios en edificios con modificaciones.	MODERADO
▪ Brindar capacitaciones a los nuevos integrantes antes de realizar los recorridos de verificación.	IMPORTANTE
▪ Proponer cargos en la CSH por votación y actualizar listas cuando se integre un miembro	TRIVIAL

### Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que el funcionamiento de la comisión no ha estado desarrollándose como lo establece la NOM-019-STPS, ya que al aplicar los diferentes instrumentos de evaluación arrojaron datos que muestran deficiencias respecto a las actividades que deben de cumplir en cuanto al desempeño global, por la parte del patrón se obtuvo un 72%, en cuanto a los trabajadores se obtuvo un 82% y por parte de la CSH se obtuvo un 72% en sus niveles de cumplimiento. Con los resultados mencionados se determinó un índice de desempeño global el cual establece el porcentaje de cumplimiento en el que se encuentra la CSH respecto al cumplimiento de la NOM 019-STPS, dicho porcentaje es del 75.3% respecto al nivel de cumplimiento, lo cual indica que la CSH debe tomar medidas para su mejoramiento.

Tal como expresa Molano y Arévalo (2013) en su investigación en un comienzo la prevención de los riesgos laborales se limita a la práctica de la higiene industrial y posteriormente a la medicina del trabajo; si bien es cierto el campus alberga aproximadamente a una gran población laboral e estudiantil (esta última varía por su acceso variable a las instalaciones) las cuales demandan no solo responder a los actos y condiciones inseguras presentes en el campus sino migrar a la salud ocupacional, manteniendo estas dos modalidades de intervención en las empresas con la participación simultánea de profesionales de las áreas de ingeniería y salud, lo cual coincide con el proceso de evolución en esta materia en el centro de trabajo estudiado. Draais, Favaro y Aubertain (2008) señalan que “los dos factores clave del éxito para el verdadero desarrollo de la prevención en las organizaciones están dados por una fuerte integración de la salud y la seguridad en el funcionamiento de la empresa y la gestión de riesgos centrada en las situaciones de trabajo”, razón por la cual es necesario implementar este tipo de acciones para salvaguardar la integridad física de las personas.

Por el proceso de desarrollo que ha tenido el centro de trabajo la prevención de riesgos se puede inferir que su nivel de desempeño tiene carácter de reactiva en transición a normalizada por el hecho de que sus procedimientos actualmente se encuentran en proceso de estandarización. El gran reto lo constituye el llevar a carácter estratégico este tema.

Es recomendable para la institución establecer redes de comunicación habilitando grupos de maestros y alumnos que transmitan rápidamente la información a modo de pirámide que envíen mensajes masivos, utilizar los medios convencionales de comunicación.

### ***Referencias***

- Cano, A., Fornés, R., Zazueta, J., Beltrán, L. & González, E. (2014). Diseño de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud ocupacional (SGSySO) en una Institución Educativa. En Moreno, Y., Portillo, E., Pizá, R. y González, M. (Comp.). Las Competencias en el Desempeño Profesional. (pp. 143-153). México: ITSON
- Cortés, N., Fornés, R., González, E., Cano, A. & Peñúñuri, S. (2012) Programa de seguridad e higiene para los laboratorios de ciencias químicas y biológicas de una institución de educación superior. Memorias del Segundo Coloquio Regional y de Negocios. ITSON, México 2012.

- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (1970). Ley federal de trabajo. México: Secretaría de trabajo y previsión social.
- Hojman, L. (2007). Universidades ¿Con seguridad e higiene? Perfil. Recuperado de: [http://www.perfil.com/contenidos/2007/12/16/noticia\\_0054.html](http://www.perfil.com/contenidos/2007/12/16/noticia_0054.html), mayo 2014
- FETE-UGT (s/f). Portal de riesgos laborales para los trabajadores de la enseñanza, recuperado de: <http://riesgoslaborales.feteugt-sma.es>, agosto 2014.
- Ministerio Del Trabajo y Asuntos Sociales (S/F). Evaluación de Riesgos Laborales, Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
- Molano, J. & Arévalo, N. (2013). De la salud ocupacional a la gestión de la seguridad y salud en el trabajo: más que semántica, una transformación del sistema general de riesgos laborales. INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, vol. 23, núm. 48, enero-marzo, 2013, pp. 21-31, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Quintana, F. (2003). La medicina en el trabajo y sus avances ante las exigencias contemporáneas. *Revista latinoamericana de la salud en el trabajo*, 3(1), 36-43.
- Reynoso, C. (2005). Sobre las comisiones mixtas de seguridad e higiene. Alegatos, núm. 59, México.
- Rodellar A. (1988). Seguridad e higiene en el trabajo, Ed. Productiva Marcombo, S.A., España.
- Sarabia, A. (2011). COMISIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE. Su importancia en los centros de trabajo. Revista Seguridad e Higiene. Prevención de riesgos un aprendizaje para toda la vida. Dirección de Inspección del Trabajo [www.nl.gob.mx/empleo](http://www.nl.gob.mx/empleo)
- SEP (2011). Manual de Seguridad Escolar. Programa Escuela Segura., Gobierno Federal, México D.F. Recuperado mayo 2014 del sitio: <http://www.seslp.gob.mx/pdf/Manual%20de%20Seguridad-Web%20290212.pdf>
- STPS. (2012). Estadísticas sobre Accidentes y Enfermedades de Trabajo Correspondientes al año 2011. Recuperado en mayo 2014 del sitio: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/estadisticas>
- Valdivia, M. (2011). Descuido provoca accidentes de trabajo. Recuperado de: <http://sintesisnoticias.com/noticia.php?id=645>
- Velásquez, R. (2001). Cómo evaluar un sistema de gestión de la seguridad e higiene ocupacional. Recuperado de: <http://www.gestiopolis.com/canales/derrhh/articulos/25/ceusgho.htm>

## Apéndices

### Apéndice A. Encuesta realizada para evaluar las obligaciones del trabajador desde su perspectiva.

	Función	Promedio	Cumplimiento
1 Sus observaciones son tomadas en cuenta por parte de la comisión	Participación	3.75	75%
2 Está de acuerdo con la intervención de la comisión en el área de trabajo	Participación	4.4875	90%
3 Usted considera que las visitas de la comisión son de ayuda para la seguridad del área de trabajo	Participación	4.4625	89%
4 Usted propone a la comisión o comisiones medidas para prevenir accidentes y enfermedades de trabajo en el área o puesto donde desempeñan sus actividades cotidianas	Participación	3.7375	75%
5 La comisión le proporciona información que se encuentre a su alcance para la investigación de las causas de accidentes y enfermedades de trabajo	Difusión	3.9375	79%
6 Usted atiende las medidas preventivas de seguridad y salud en el trabajo que señale el patrón y/o la comisión o comisiones	Control	4.525	91%
7 Usted recibe la capacitación o adiestramiento que en materia de seguridad y salud en el trabajo les proporcione el patrón, cuando formen parte de la comisión o comisiones	Capacitación	3.7375	75%

### Apéndice B. Encuesta realizada para evaluar las obligaciones de la Comisión de Seguridad e Higiene desde la perspectiva de sus miembros.

	Función	Promedio	Cumplimiento
1 ¿Cuándo se constituyó la comisión, el cargo de coordinador lo obtuvo el representante que designó el patrón, y el de secretario en el de los trabajadores que se designó por el sindicato?	Organización	4.86	97%
2 ¿En caso de ausencia temporal del coordinador o del secretario de la comisión, su cargo es ocupado por uno de los vocales, de la representación que corresponda?	Ejecución	2.57	51%
3 ¿El programa anual de recorridos de verificación se integra dentro de los treinta días naturales siguientes a la constitución de la comisión?	Planeación	3.00	60%
4 ¿En el programa anual se determinan las prioridades de los recorridos de verificación, con base en los incidentes, accidentes y enfermedades de trabajo y áreas con mayores condiciones peligrosas?	Planeación	3.57	71%
5 ¿La comisión o comisiones orientan a los trabajadores durante los recorridos de verificación sobre las medidas de seguridad por observar en las áreas del centro de trabajo?	Ejecución	4.57	91%
6 ¿El seguimiento de las medidas propuestas por la comisión o comisiones y aceptadas por el patrón para prevenir los riesgos de trabajo, se efectúan al menos en forma trimestral?	Ejecución	2.57	51%
7 ¿Para identificar los actos inseguros y las condiciones peligrosas en el centro de trabajo, la comisión o comisiones hacen uso de diagnóstico sobre seguridad y salud en el trabajo?	Ejecución	4.71	94%
8 ¿La comisión efectúa verificaciones extraordinarias, en caso de un accidente o enfermedad de trabajo que genera defunciones o incapacidad permanente?	Ejecución	4.00	80%
9 ¿La comisión efectúa verificaciones extraordinarias, en caso de modificaciones a las instalaciones?	Ejecución	2.57	51%
10 ¿Los integrantes de la comisión o comisiones son sustituidos a petición de quien los propuso?	Ejecución	3.00	60%
11 ¿Investigan las causas de los accidentes y enfermedades de trabajo?	Ejecución	4.00	80%
12 ¿Cuándo se incorpora un nuevo integrante o integrantes a la comisión se le proporciona de inmediato un curso de inducción?	Capacitación	3.86	77%

Apéndice C. Encuesta realizada a los responsables de edificios para evaluar las responsabilidades del patrón.

	Función	Promedio	Cumplimiento
1 Constituyó e integró una o más comisiones en el centro de trabajo.	Organización	5.00	100%
2 Designa a sus representantes para participar en la comisión o comisiones que se integren en el centro de trabajo	Organización	4.50	90%
3 Solicita al sindicato o a los trabajadores, si no hubiera sindicato, la designación de sus representantes para participar en la comisión o comisiones	Organización	4.25	85%
4 Cuenta con el acta de constitución de la comisión o comisiones del centro de trabajo	Organización	2.25	45%
5 Cuenta con el programa anual de los recorridos de verificación de la comisión o comisiones	Planeación	3.13	63%
6 Cuenta con las actas de los recorridos de verificación realizados por la comisión o comisiones	Documentación	3.63	73%
7 Facilita a los trabajadores el desempeño de sus funciones como integrantes de la comisión o Comisiones	Gestión de recursos	3.75	75%
8 Proporciona a la comisión o comisiones la información que solicitan	Difusión	3.63	73%
9 Dota a la comisión o comisiones de los recursos requeridos para investigar las causas de los accidentes de trabajo	Gestión de recursos	3.75	75%
10 Brinda facilidades a los integrantes de la comisión o comisiones para que utilicen los apoyos informáticos desarrollados por la Secretaría	Gestión de recursos	3.88	78%
11 Atiende y dar seguimiento a las medidas propuestas por la comisión o comisiones para prevenir los riesgos de trabajo	Gestión de recursos	3.38	68%
12 Difunde información entre los trabajadores del centro de trabajo, por cualquier medio	Difusión	2.50	50%
13 Proporciona a los integrantes de la comisión o comisiones, al menos una vez por año, capacitación para la adecuada realización de sus funciones	Capacitación	3.38	68%

## Capítulo II. Estudio de filtros pasivos de potencia de corrientes armónicas

Rafael León Velázquez, Javier Pérez Ramírez, Clarissa Nallely Acosta Campas y  
Javier Osvaldo Montes Manríquez  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Instituto Tecnológico de Sonora.  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [rafael.leon@itson.edu.mx](mailto:rafael.leon@itson.edu.mx); [javier.perezr@itson.edu.mx](mailto:javier.perezr@itson.edu.mx)

### **Resumen**

En el presente documento se ilustra una de las metodologías que existen para el diseño y construcción de un filtro pasivo de potencia de corrientes armónicas, donde dicho filtro estará destinado específicamente para un solo armónico corriente. Se lleva a cabo un estudio teórico-práctico acerca de comportamiento de los filtros pasivos; la importancia de este estudio radica en el nivel de eficiencia del filtro, es decir el nivel de atenuación que se logre con respecto a la amplitud total de la componente armónica a compensar. El estudio se ha dirigido hacia los filtros pasivos ya que son más económicos y robustos a diferencia de un filtro activo, por lo cual se pone atención hacia el diseño de este tipo de filtro, tomando en cuenta específicamente las características de la carga a la cual se le compensaran los armónicos. Para que el diseño del filtro sea más efectivo, es necesario que la carga y la red sean analizadas con el objetivo de conseguir la mejor sintonización posible del filtro.

### **Introducción**

Hoy en día los problemas de calidad de energía son indispensablemente necesarios de tratar, ya que éste tipo de problemas tienen un impacto directo en la economía del usuario, debido al impacto que las corrientes armónicas tienen sobre las cargas, así como en los conductores de la red y los diferentes componentes que conformen el sistema eléctrico del usuario.

Es importante analizar esta cuestión ya que a medida que la tecnología avanza, las necesidades de los usuarios en cuanto a adquisición de cargas no lineales se refiere, también se incrementan, en consecuencia, las corrientes armónicas en la red, se hacen presentes cada vez con mayor intensidad, el impacto de las corrientes armónicas se traduce en calentamiento de los conductores el cual se traduce en pérdidas de potencia en el sistema, a su vez las pérdidas provocan una reducción de la vida útil de la instalación eléctrica y lo cual conlleva a un aumento en el consumo de energía. En los transformadores las corrientes armónicas que distorsionan la forma de onda senoidal que suministra la red, con ello se provocan pérdidas en los conductores de las fases, también se desencadenan

pérdidas en el núcleo, en las carcasas metálicas y en los bobinados. Estos efectos tienen impacto sobre la capacidad del condensador para compensar el factor de potencia. Siendo además la compañía suministradora la que aplica sanciones al usuario por tener bajo factor de potencia, por lo que muchas empresas recurren a corregir los problemas de calidad para bajar el consumo de la energía eléctrica, así mismo, buscan disminuir el periodo de mantenimiento de sus equipos e instalaciones, así como proteger equipos costosos que sean de tipo sensible.

### ***Fundamentación teórica***

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen una frecuencia que son múltiplos enteros de la frecuencia del sistema de alimentación a la que se diseñó para operar, en México la frecuencia del sistema eléctrico son 60 Hertz (Lugo, Orduño, Valle, 2014).

El fenómeno provocado por las distorsiones en forma de ondas de corrientes y voltajes influenciados por los armónicos afectan la confiabilidad de un sistema y así mismo su calidad de energía; estas son creadas a partir del acoplo de cargas no lineales al sistema de alimentación como lo son en su mayoría cargas del tipo inductivas, aunque también hay otro tipo de cargas que presentan el mismo problema al sistema las cuales son las que se encuentra controladas por dispositivos electrónicos como lo son los dispositivos SCR's (por sus siglas en inglés silicon controlled rectifier o rectificador controlado de silicio en español), transistores de potencias, etcétera (Madrigal, 2002).

En la actualidad se puede observar una gran cantidad de dispositivos electrónicos conectados a la red eléctrica lo cual provoca una gran cantidad de armónicas en los sistemas eléctricos; entonces para asegurar la integridad de los sistemas de potencia es necesario mantener un límite de cuantos armónicas están permitidas evitando así el afectar al usuario como a la empresa que suministre la energía. Para evitar problema en México existe la especificación de la CFE L0000-45 llamada "Perturbaciones permisibles en las ondas de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica" la cual trata el tema de la distorsión armónica permisible (CFE, 2014). Existe además otra norma dada por la IEEE 519 la cual se rige por la mentalidad de limitar que el usuario de inyectar corrientes armónicas y al suministrador de la energía el dar un límite de armónicos ya definidos al

usuario (IEEE Std 519,1992). Ambas normas se centran en mantener regulado la cantidad de armónicas que se pueden suministrar en el sistema por parte del usuario como del encargado de suministrar la energía para así mantener un cierto control, debido al hecho de que las cargas que se utilizan necesitan de esas corrientes armónicas para funcionar de manera óptima y no pueden eliminarse al 100% del sistema. Existe un límite de los valores de voltaje y corriente armónicas permitidas según las normas comentadas anteriormente, las cuales pueden apreciarse en las referencias (IEEE Std 519 (1992). CFE (2014). Factor de potencia).

Actualmente se encuentran diversas técnicas para la mitigación de armónicos según Manuel Madrigal Martínez. (2002). son: reducción de aportación de corrientes armónicas, utilización de filtros sintonizado y además de la modificación de la respuesta a la frecuencia.

#### *Reducción de aportación de corrientes armónicas*

Esta técnica se encarga de reducir las aportaciones de armónicas debido a las fuentes que las generan: a) Si estas provienen del transformador la mejor opción es cambiarlo o reducir las cargas, b) Cuando provienen de lámparas lo mejor es utilizar una conexión Delta-Estrella del transformador de alimentación con el fin de atrapar las armónicas de secuencia cero, c) En caso de tener varias cargas que necesiten ser rectificadas entonces lo mejor sería que unos rectificadores se conecten de un transformador Delta-Estrella y otros de un Delta-Delta, esto con el fin de que tengan cancelación armónica.

#### *Utilización de filtros sintonizado*

La utilización de filtros es una buena opción pero no siempre es la más económica o factible debido a que depende mucho del problema que se está tratando.

#### *Modificación de la respuesta a la frecuencia*

a) Colocando un reactor en las terminales de un banco de capacitores, b) Cambiar los capacitores a otro lugar donde se tengan diferentes capacidades de cortocircuito, c) Cambiar el valor del banco de capacitores, d) En definitiva quitar los capacitores.

De entre las técnicas mostradas anteriormente se optó por la metodología de implementar un filtro sintonizado del tipo pasivo, un filtro pasivo, está diseñado y se implementa para un armónico en específico o para un rango determinado; debido a su costo relativamente bajo y su facilidad de instalación, estos muestran una gran popularidad, lo que los vuelve de los más utilizados para los sistemas eléctricos, aunque en muy pocos casos estos podrían traer un problema de resonancia.

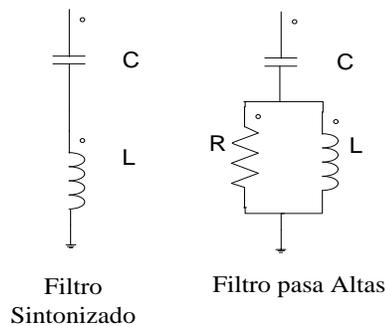


Figura 1. Topologías de filtros pasivos.

Los filtros sintonizados del tipo pasivo funcionan es debido a que durante su operación estos muestran una impedancia muy baja para una corriente a una determinada frecuencia, dicha frecuencia es la frecuencia del armónico en cuestión, provocando que la corriente de dicho armónico sea consumida por la impedancia del filtro y durante un modelado ideal este elimina el armónico a un 100% o en el mejor de los casos simplemente reducirlo (Madrigal, 2002).

### **Metodología**

De las metodologías anteriormente mencionadas se adopta la idea de implementar un filtro, el cual está sintonizado al tercer armónico, el cual consta de una bobina y un capacitor en serie, estos se encuentran conectados en paralelo a la carga no lineal, con el objetivo de cancelar el armónico en cuestión. La sintonización del filtro depende del múltiplo de frecuencia deseado.

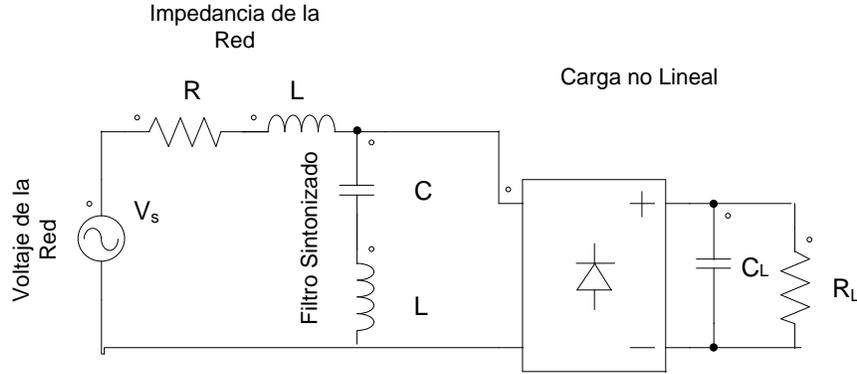


Figura 2. Topología simple de la conexión de un filtro pasivo.

Partiendo de la ecuación de resonancia:

$$\omega_h = \frac{1}{\sqrt{L * C}} = 2 * \pi * f_h \quad (1)$$

Se debe proponer un capacitor para compensar la potencia reactiva equivalente, a la frecuencia del armónico. Conociendo la potencia reactiva de la tercera componente, el voltaje en el punto común de conexión (antes del conmutador de la carga lineal) y la corriente de la carga en la tercera componente.

$$Q_h = V_{pcc} * I_{lh} = V_{pcc}^2 * \omega_h * C \quad (2)$$

Donde  $Q_f$ , es la potencia reactiva consumida por el filtro a frecuencia fundamental,  $V_{pcc}$  es el voltaje del filtro en el punto común de conexión y  $\omega_f$ , es a frecuencia fundamental.

$$C = \frac{Q_h}{V_{pcc}^2 * \omega_h} \quad (3)$$

### Capacitor propuesto

Para los siguientes datos se aplicó la metodología anteriormente descrita, los datos presentados son mediciones tomadas de una carga no lineal propuesta de aproximadamente  $R_L = 16.2 \Omega$ , tomando como fuente, la tensión por la compañía suministradora, el dispositivo de medición utilizado fue un Fluke 43B, cabe resaltar que los valores de voltaje introducidos en los cálculos fueron convertidos a valores pico.

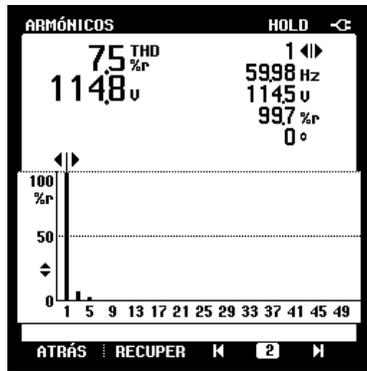


Figura 3a. Voltaje en el punto común de conexión

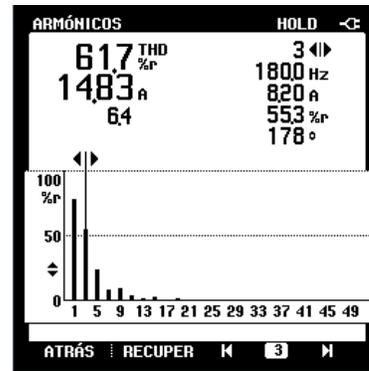


Figura 3b. Corriente de tercer armónico en la carga.

De la ecuación 1, se obtiene la frecuencia fundamental y la frecuencia de resonancia.

$$\omega_h = 2 * \pi * 180 = 1,130.97 \frac{rad}{s}$$

$$\omega_f = 2 * \pi * 60 = 376.99 \frac{rad}{s}$$

Luego se calculan la potencia que consumirá el filtro a dicha frecuencia de resonancia, con la cual se obtendrán un capacitor y una bobina propuestos.

$$Q_h = V_{pcc} * I_{lh} = 162.49V_{rms} * 14.69A_{rms} = 2,386.9781VAr$$

$$C = \frac{2,386.9781}{162.49^2 * 1,130.97} = 79.936\mu F$$

$$L = \frac{1}{\omega_h^2 * C} = \frac{1}{1,130.97^2 * 79.936\mu} = 9.78mH$$

Por defectos de construcción el inductor utilizado fue de 10.02mH, por lo que se recalculo un capacitor para dicho inductor, debido a que a través de varias pruebas se observó que entre mejor fuera el arreglo de capacitores, mejor era la sintonización lograda.

$$C = \frac{1}{\omega_h^2 * L} = \frac{1}{1,130.97^2 * 10.02mH} = 78.023\mu F$$

El arreglo de capacitores más próximo al calculado fue de 78.18  $\mu F$ .

### Resultados y discusión

Los datos obtenidos fueron sometidos a simulación con el software PSIM, implementando los valores obtenidos anteriormente en el diagrama de la Figura 2 y consiguiendo las siguientes figuras de respuesta.

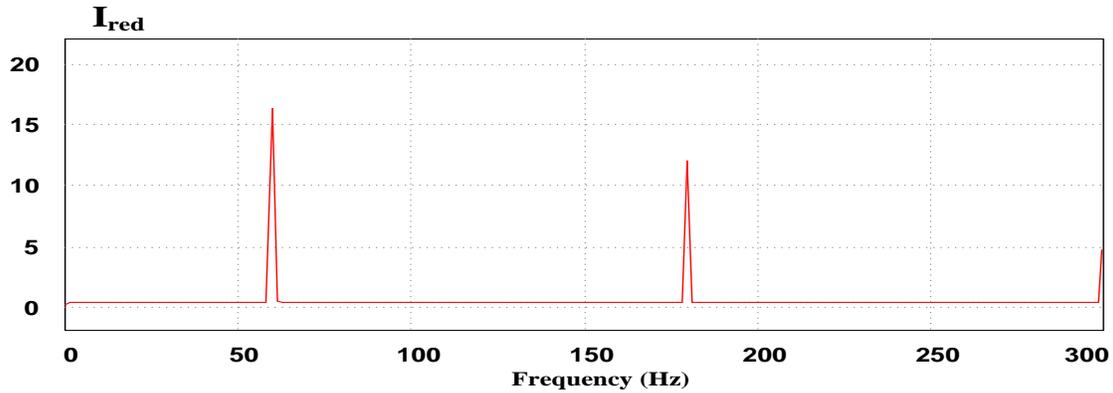


Figura 4. Simulación de la corriente de red sin filtro.

La simulación sin filtro presenta corrientes de la tercera componente, las cuales son suministradas por la red, debido a la ausencia del filtro y a la demanda de la carga no lineal. Una vez que se simuló el filtro se obtuvo el siguiente comportamiento en el nivel de armónicos del filtro y lo que suministra la red eléctrica.

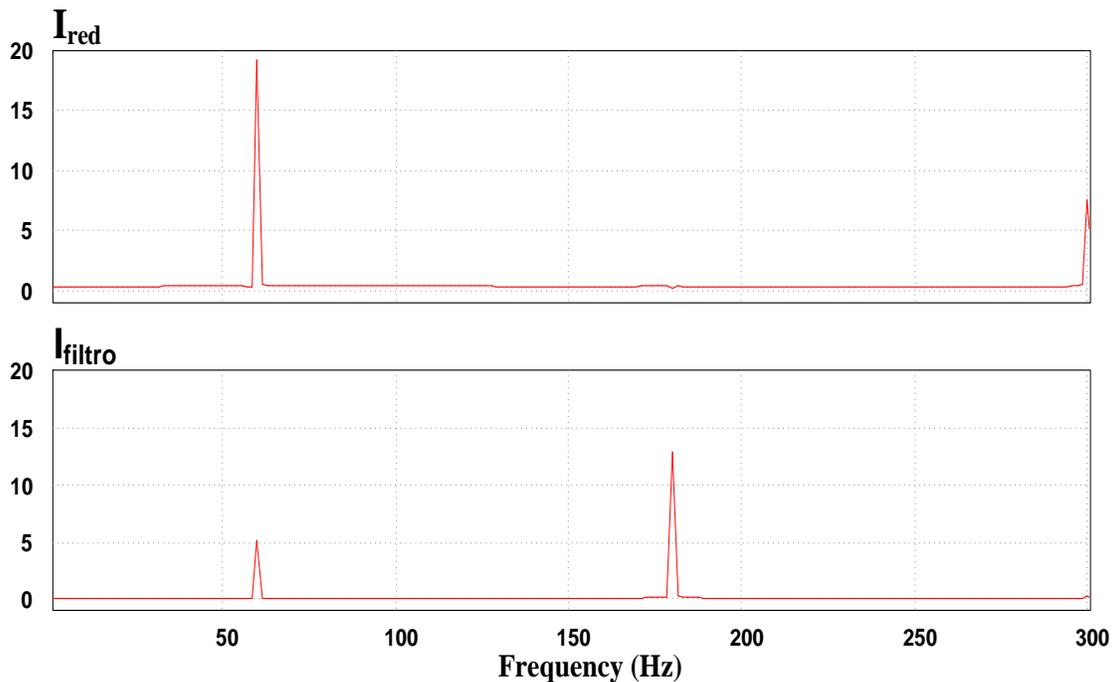


Figura 5. Corriente de la red y corriente del filtro.

Como se puede observar en la simulación se ve como el filtro aporta perfectamente la corriente armónica que demanda la carga, convirtiéndolo en un filtro ideal para el problema planteado.

Como ya se había planteado lo ideal sería que los armónicos se eliminaran completamente, tal como en la simulación mostrada en la Figura 5, sin embargo realmente esto no ocurre debido a que los valores de los dispositivos no son exactamente iguales a los calculados, por lo que la sintonización perfecta no es posible.

Las siguientes mediciones muestran el comportamiento del filtro, cabe resaltar que los valores corriente y voltaje se deben a las mediciones las cuales fueron tomadas de la red eléctrica días después del diseño del filtro, sucede que dependiendo de la hora y el día, la amplitud y la frecuencia de la red, presentan variaciones, esto debido a la demanda que la red eléctrica éste presentando en ese momento, por lo que la sintonización se mueve, al igual que el nivel de atenuación.

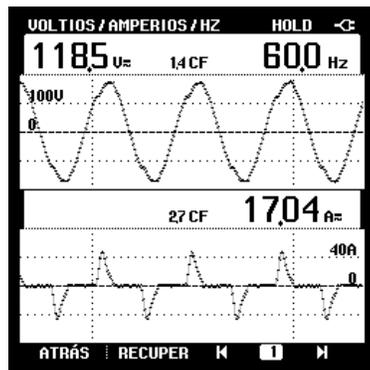


Figura 6a. Voltaje y corriente de la red, sin

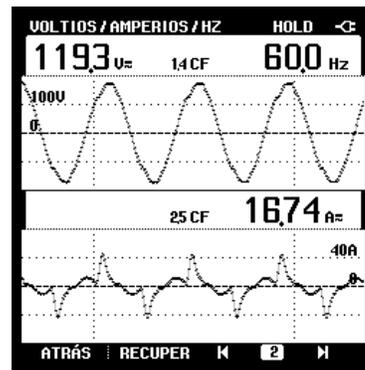


Figura 6b. Voltaje y corriente de la red, con filtro.

Al comparar las capturas anteriores, se puede observar que la corriente suministrada por la red, se asemeja más a una senoide cuando se conecta el filtro, es decir al conectar el filtro, la señal de corriente de la red, tiene un grado menor de distorsión.



Figura 7a. Corriente de la red, sin filtro.

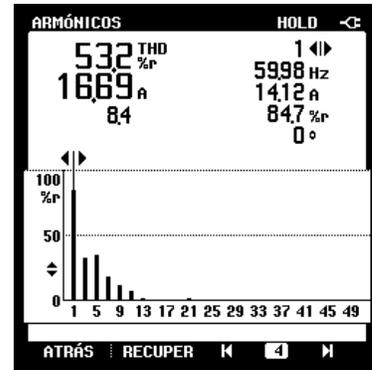


Figura 7b. Corriente la red, con filtro.

A simple vista se observa que la corriente de tercer armónico disminuyó.

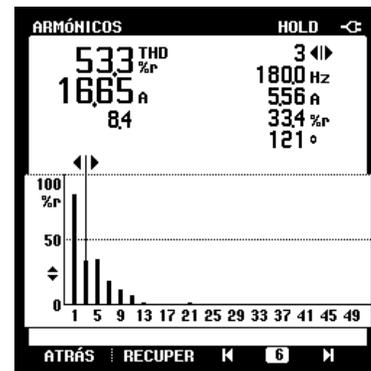
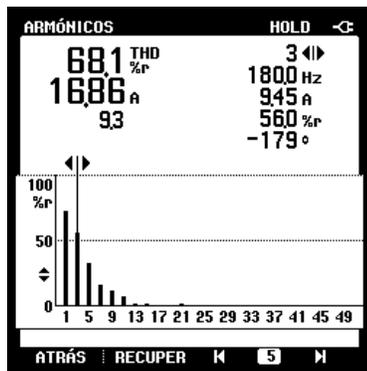


Figura 8a. Corriente de tercer armónico de la red, sin filtro. Figura 8b. Corriente del tercer armónico de la red, con filtro.

Si se estima la atenuación de la corriente se obtiene que:

$$\%De\ atenuación_h = \left( \frac{I_{REDh} - I_{Fh}}{I_{REDh}} \right) * 100 \quad (4)$$

$$\%De\ atenuación_3 = \left( \frac{9.45 - 5.56}{9.45} \right) * 100 = 41.12\%$$



Figura 9a. Potencia del sistema propuesto, sin filtro.

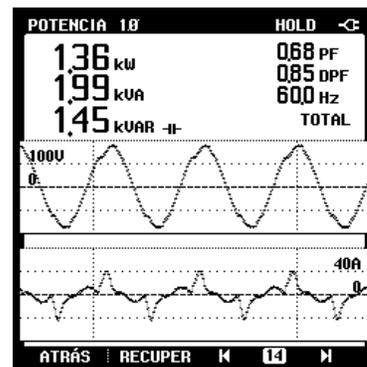


Figura 9b. Potencia del sistema propuesto, con filtro.

Las Figuras 9a y 9b, fueron observaciones extra, ya que el factor de desplazamiento (DPF), tuvo una disminución, lo cual es inconveniente, pero se debe al consumo de potencia reactiva del mismo filtro.

### ***Conclusiones***

El objetivo que fue el de reducir los armónicos que el transformador suministra al sistema, fue cumplido, ya que los resultados fueron mejor de los esperados, por lo que se puede concluir en que la sintonización del filtro, debe de ser lo más exacta posible para poder lograr el cortocircuito en la frecuencia resonante deseada. Por otro lado hay que resaltar que a lo largo de las pruebas se observó que un arreglo lo más exacto posible en los capacitores, ya que la resonancia abarca cierto rango, debido a que la frecuencia de la red es variante, la variación de la frecuencia puede ser de impacto negativo para el filtro en algunas ocasiones, pero para éste caso, se piensa que el hecho de que se presente ésta variación, permite en cierta medida que sea posible la sintonización, ya que como se mencionó antes, los valores de capacitor y bobinas fueron adaptados.

Otro punto que es de vital importancia es tomar en cuenta la impedancia de salida de la red donde se piensa instalar el filtro, ya que si la impedancia de salida de la red es mucho mayor a la del filtro, el nivel de atenuación, por lo tanto debe de ser alto, ya que si la impedancia de salida es mucho menor, la corriente de resonancia en el filtro, disminuye mucho, tanto como para que lo haga ser inútil e ineficiente, por lo que se recomienda tener un conocimiento previo de la impedancia de salida de la red, pero también es importante tomar en cuenta que la impedancia de salida no es constante, ya que en una red eléctrica ésta varía dependiendo del usuario, de ésta manera se puede localizar el punto que sea más conveniente para situar el filtro, ya que éste método para la corrección de armónicos es relativamente barato en comparación con otros métodos, además de que es fácil de conectar en la red.

Sin embargo, para que funcione es necesario conocer perfectamente el sistema al que se conectara, así como la carga que se va a compensar, también se recomienda el diseño de un reactor para compensar el consumo de potencia reactiva del filtro, pero esto genera más costos.

## **Referencias**

Alexander, Sadiku, Charles K., Matthew N. O. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos. 3ra edición.

CFE (2014). Factor de potencia. Recuperado en mayo de 2015 Disponible en <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>.

Fluke (2014). Recuperado mayo de 2015 Disponible en: <http://www.fluke.com/fluke/mxes/products/CalidadEnergia-Electrica.htm>.

IEEE M. Zubi, R. W. Dunn, F. V. P. Robinson (2010). Comparison of Different Common Passive Filter Topologies for Harmonic Mitigation, H.

IEEE Std 519 (1992). IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. Fecha de consulta: Mayo de 2015.

Ingeniería Energética, Cálculo de parámetros de filtros pasivos de armónicos. Recuperado en Mayo de 2015. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012012000200006&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012012000200006&script=sci_arttext)

Lugo, Orduño, Valle. (2014). “Estudio de filtros pasivos de potencia para corrientes armónicas” Tesis de ingeniería no publicada, Instituto Tecnológico de Sonora. Cd Obregón, México.

Madrigal, M. (2002). “Calidad de la energía y Análisis armónico en sistemas eléctricos”.

### Capítulo III. Diseño y operación de un generador de hidrógeno de placas secas por electrólisis alcalina

Ismael Murillo Verduzco<sup>1</sup>, Rafael Alfonso Figueroa Díaz<sup>1</sup>, Manuel Herrera Sarellano<sup>1</sup>,  
Manuel Norberto Montoya Quezada<sup>1</sup> y Jorge Saldívar Cabrales<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [ismael.murillo@itson.edu.mx](mailto:ismael.murillo@itson.edu.mx)

#### **Resumen**

Actualmente se vive a nivel mundial una crisis energética que plantea desafíos en diversos ámbitos, uno de ellos es la reducción de los altos precios en combustibles de origen fósil. El presente estudio diseña, construye y analiza la operación de un generador de hidrógeno de placas secas por electrólisis alcalina experimentando con dos catalizadores (KOH y NaCO<sub>3</sub>), en los laboratorios del Instituto Tecnológico de Sonora con la finalidad de obtener un combustible alternativo. Los resultados finales arrojaron, que empleando KOH al 20 % peso se tiene mayor velocidad de reacción 2.421 gr H<sub>2</sub> (gas)/hr y empleando NaCO<sub>3</sub> al 20 % se consume menor energía 0.2136 KW.h/gr H<sub>2</sub> (gas), pero el punto de operación óptimo en producción y consumo de energía actuando en el generador alcalino arrojó que es el KOH al 10 % en peso con 1.947 gr H<sub>2</sub> (gas)/hr y 0.242 KW.h/gr H<sub>2</sub> (gas). La generación de hidrógeno por electrólisis alcalina tiene que combinarse con una energía renovable como por ejemplo paneles solares, de otra forma el proceso no será rentable.

#### **Introducción**

Para afrontar la creciente demanda de energía, la OPEC deberá ser capaz de incrementar su producción de 28,6 billones de barriles al día en el 2002 a 64,8 billones de barriles al día en el 2030, escenario bastante difícil de afrontar si se considera que la producción de petróleo se encuentra en una fase de declinación (Erice, 2009); King Hubbert (1971), menciona en sus estudios, que desde el año 2029 al 2035 se consumirá el 80 % de las reservas mundiales de petróleo. El agotamiento de los combustibles fósiles hace necesaria la utilización de nuevas tecnologías para contrarrestar los problemas actuales de contaminación ambiental, la cual está acarreado cambios climáticos y posibles conflictos internacionales provocados por el acceso a los recursos. Entre las tecnologías se destaca la utilización del hidrógeno, el cual está siendo utilizado para desplazar a los combustibles fósiles para llegar a construir una economía basada en hidrógeno (Piarpuezan & Manosalvas, 2012).

Producir hidrógeno por medio de electrólisis es costoso, como también lo es la fabricación de las celdas de combustible, pues al no existir todavía un mercado importante de las mismas, la fabricación se realiza en pequeña escala. Hay también aspectos

importantes de seguridad en el manejo y transporte del hidrógeno; no existen redes de distribución y la producción mundial es todavía restringida, por estas y otras desventajas, parece razonable aceptar la conclusión a la que llega (Hoffmann, 2001) en su libro, dedicado al tema del hidrógeno y las celdas de combustible: la conversión energética que nos llevará de los combustibles fósiles a la “descarbonización” de la energía mediante el empleo generalizado del hidrógeno alcanzará un pleno desarrollo a mediados del presente siglo XXI. La misma previsión se presenta en el Reporte de la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos (National Academy of Engineering, 2004).

En México existen grupos de investigación que trabajan sobre diversos aspectos de la generación, almacenamiento y aplicación del hidrógeno como fuente de energía (Feria, 2003). Entre estos grupos podemos mencionar los siguientes: el Departamento de Química del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN); la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Atzacapozalco (UAM-A); la Escuela Superior de Ingeniería, Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del IPN; el Centro de Investigación en Energía (CIE) y el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); la Universidad de Guanajuato (UG) en Salamanca, Guanajuato; el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en Salazar, estado de México; el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP); el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Chihuahua; el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) en Cuernavaca, Morelos, y el Centro de Estudios en Hidrógeno, S. C. (Domínguez, Lerma, & Meneses, 2008).

Sobre los aspectos del transporte basado en el empleo de celdas de combustible y la generación de electricidad para usos domésticos e industriales, existe un grupo de investigación en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN, que ha presentado un proyecto al Gobierno del Distrito Federal para la introducción de autobuses prototipo de transporte público movidos por hidrógeno, como existen en algunas ciudades de Europa.

Es por ello que el Instituto Tecnológico de Sonora se incorpora en la investigación de la producción de hidrógeno por electrólisis; diseñando, construyendo y estudiando un generador de hidrógeno de placas secas, esto con fin académico dentro de la institución,

para que nuevas generaciones de estudiantes puedan seguir aportando innovaciones, en el diseño de este prototipo.

### *Objetivo general*

Generar gases de hidrógeno y oxígeno en forma separada mediante electrólisis alcalina experimentando con dos catalizadores (KOH y NaCO<sub>3</sub>), con el menor consumo de energía

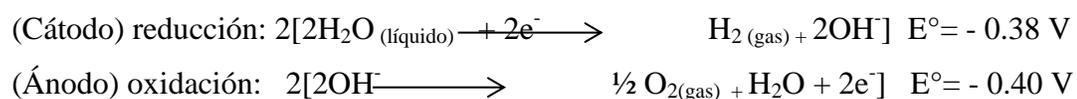
### *Objetivos específicos*

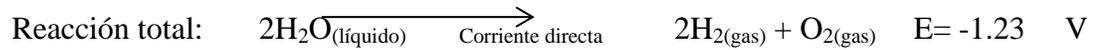
- Diseñar y construir un generador de hidrógeno por electrólisis alcalina que obtenga sus productos H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> por separado.
- Realizar pruebas experimentales del generador de hidrógeno en laboratorios del Instituto Tecnológico de Sonora.
- Determinar el punto de operación más eficiente y de mayor velocidad de reacción del generador de hidrógeno, con la variable de la concentración de KOH y NaHCO<sub>3</sub>.

### *Fundamentación teórica*

*Producción de hidrógeno por electrólisis del agua.* Es uno de los procedimientos más limpios para obtener hidrógeno. Consiste en descomponer el agua en sus elementos constituyentes, el hidrógeno y el oxígeno. Para descomponer el agua es necesario invertir una cierta cantidad de energía, bien sea calorífica o eléctrica; es por ello que la reacción se lleva en una celda electrolítica, por la acción de un flujo de electrones suministrados por una fuente de voltaje externa.

Las reacciones que se producen en ambos electrodos son (Acosta & Christian, 2010):





Lo que podemos pretender es que sea mayor la cantidad de energía obtenida que la invertida por cuanto que esto entraría en contradicción con el primer principio de la termodinámica. Por lo tanto, la energía eléctrica empleada en la electrólisis deber ser de origen renovable, de otra forma el proceso jamás será rentable.

La descomposición del agua a 25 °C requiere una aportación de 285.83 kJ/mol que es su entalpía de formación, sin embargo solo será necesario aportar 237.19 kJ/mol en forma de trabajo eléctrico; la diferencia la recibe el sistema en forma de calor (Aguer Hortal & Miranda Barrera, 2012). El dispositivo para llevar a cabo la electrólisis del agua, es una cuba electrolítica que consta esencialmente de dos electrodos, ánodo y cátodo, y un electrolito para facilitar la migración de los iones (Pletcher, 2000).

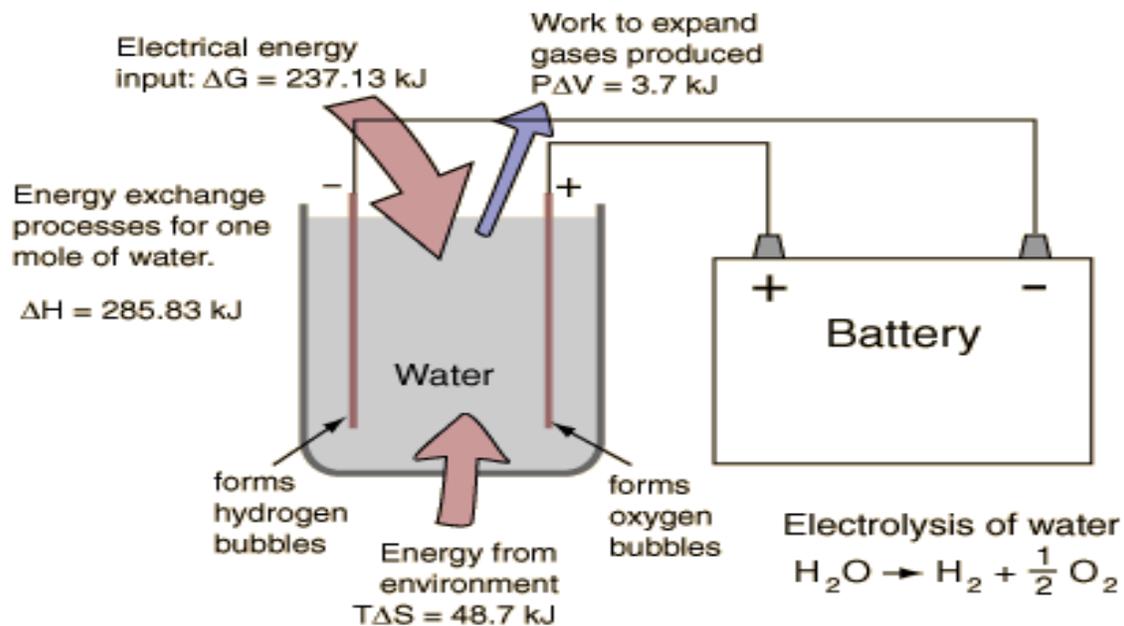


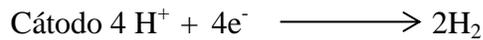
Figura 1. Electrólisis del agua.  
Fuente: (Schroeder, 2000).

*Electrólisis alcalina.* En la electrólisis alcalina, el electrolito es generalmente hidróxido de potasio (KOH), en una solución acuosa al 20-30%, en donde los iones  $K^+$  e hidroxilo ( $OH^-$ ) son causantes de las corrientes iónicas. Las reacciones anódicas y catódicas son las siguientes:

Aplicando un potencial eléctrico, se descompone la molécula del agua, en cationes  $H^+$  y aniones  $OH^-$



En donde, por reducción catódica (captura de electrones) de las moléculas de agua, se forman iones hidroxilo  $OH^-$ , cargados negativamente y se desprende hidrógeno,



y, por oxidación anódica (cesión de electrones) los iones hidroxilo pasan a moléculas de agua y oxígeno



Los electrolizadores comerciales consisten en un número de celdas electrolíticas unidas a una celda fija.

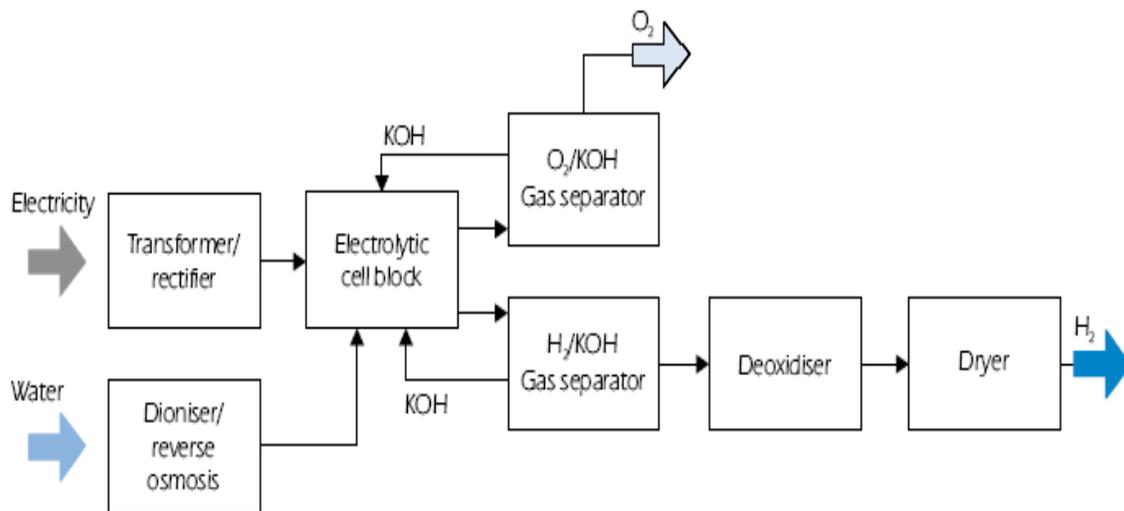


Figura 2. Sistema del proceso de electrólisis alcalina.  
Fuente: (Abbas & Wan Daud , 2010).

## Metodología

Se realizó una investigación bibliográfica de los diferentes generadores de hidrógeno convencionales por electrólisis de la última década, para seleccionar los materiales, dimensiones, estructura interna y externa del generador, para que cumpla con la característica principal, generar el  $H_2$  (gas) y  $O_2$  (gas) por separado. Se elaboró un diseño del generador en dimensión plana y 3D en el software SolidWork versión 2013. En la parte de la construcción se utilizó equipo fresadora para hacer el corte y confección de los materiales del generador esto con la finalidad de tener más exactitud. En la experimentación del equipo se utilizaron dos catalizadores alcalinos (KOH y  $NaCO_3$ ), cada uno al 5, 10, 15, 20 % peso en agua destilada, la prueba en operación se hizo para obtener un litro de hidrógeno (gas) y medio litro de oxígeno (gas) a 303.15 °K y 1.0106 atm de presión cada prueba se realizó por duplicado para comprobar el coeficiente de varianza. El análisis se elaboró con gráficas de dispersión en excel para determinar el punto de mayor velocidad de reacción y el punto de menor energía empleada para producir un gramo de hidrógeno.

## Resultados y discusión

Los materiales empleados en la construcción del generador de hidrógeno de placas secas son los que se muestran la siguiente Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Área de contacto solución alcalina-acero inoxidable 316L.

Parámetro	Cantidad	Unidades
Espacio entre placas	13.20	cm
Densidad de corriente	0.10	A/cm <sup>2</sup>
Corriente a operar	30.00	Amperes
Área de contacto ánodo-solución alcalina	300.00	cm <sup>2</sup>

En la Tabla 1 se muestra los parámetros de diseño del generador de hidrógeno.

Tabla 2. Materiales para el generador de hidrógeno y especificaciones.

Material	Especificaciones	Dimensiones	Cantidad
Soporte extremo	Acrílico (polimetilmetacrilato)	250 mm x 250 mm	2
Ánodo	Acero inoxidable 316L	230mm x 230 mm	1
Cátodo	Acero inoxidable 316L	230mm x 230 mm	1
Empaques	Neopreno (policloropreno)	230 mm x 230 mm	24
Membrana interna	Acetato	230 mm x 200 mm	1
Arandelas	Acero al carbón	½ pulgadas	14
Tornillos	Acero al carbón	½ pulgadas	4
Tuerca	Acero al carbón	½ pulgadas	10

En la Tabla 2 se visualizan los elementos que conforman al generador de hidrógeno. Adicionalmente, se implementaron trampas de vapor con la finalidad de capturar el agua en forma de vapor, que es arrastrado por el gas generado en el electrolizador (Tabla 3).

Tabla 3. Materiales para las trampas de vapor y especificaciones.

Material	Especificaciones	Dimensiones	Cantidad
Tubería	PVC	3 pulgadas de diámetro x 10.24 pulgadas de largo	2
Copla contacto	PVC	3 pulgadas	4
Tapa externa	PVC	3 pulgadas	4
Manguera	Plástico transparente comercial	½ pulgadas de diámetro x 157.48 pulgadas de largo	1

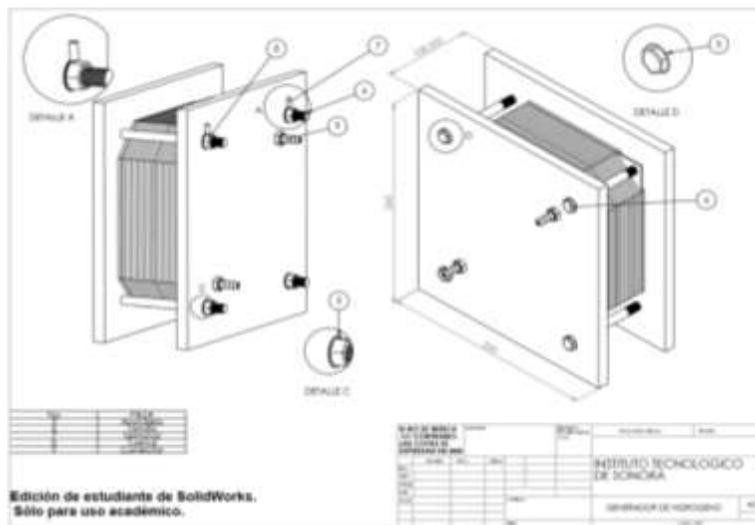


Figura 3. Exterior del generador de hidrógeno.

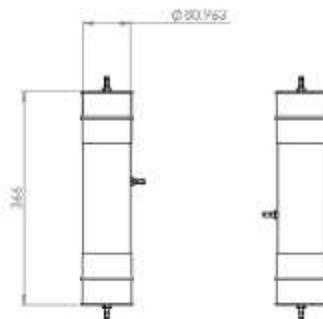


Figura 4. Trampas de vapor.



Figura 5. Experimentación con el generador de hidrógeno.

Para la experimentación del generador de hidrógeno alcalino se utilizaron diferentes equipos.

- Batería 13 celdas (12 vatios)
- Multímetro
- Voltímetro DC
- Control de entrada

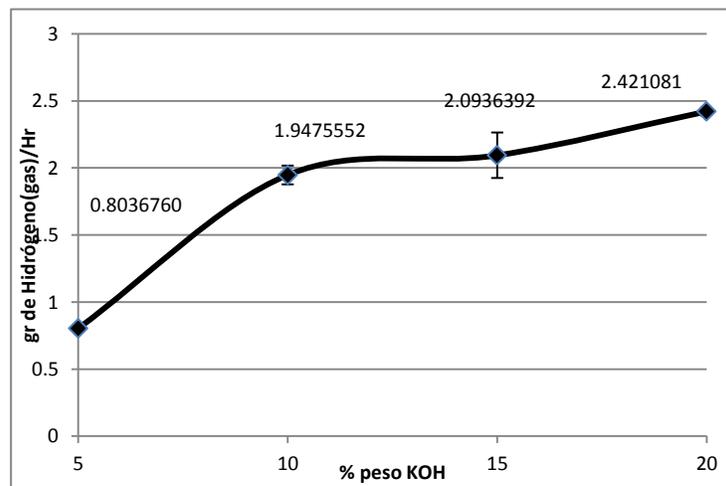


Figura 6. Producción de hidrógeno<sub>(gas)</sub> en gramos por hora a diferentes concentraciones de electrolito KOH  
 $C_v < 10$   $\sigma = 0.07021$

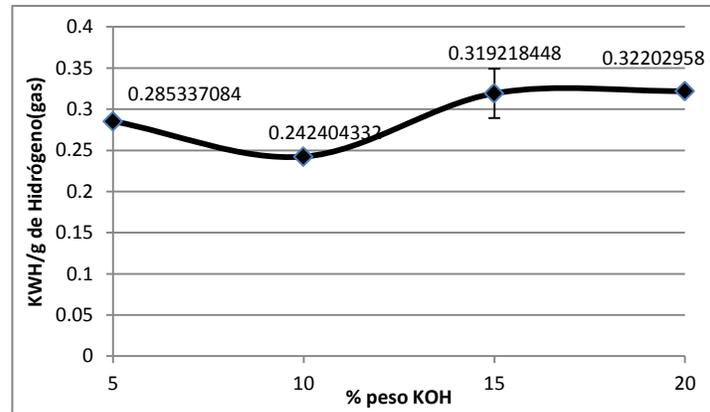


Figura 7. Consumo de energía eléctrica en KW.h por gramo producido de hidrógeno (gas) a diferentes concentraciones de KOH.  $C_v < 10$   $\sigma = 0.00947$

Como se puede ver en las Figuras 6 y 7, a 20 % en peso de KOH se tiene la mayor velocidad de reacción 2.42 gr H<sub>2</sub> (gas)/hr y a 10 % en peso KOH se demanda menos energía por gramo de hidrógeno generado por el electrolizador 0.2424 KW.h/gr H<sub>2</sub> (gas).

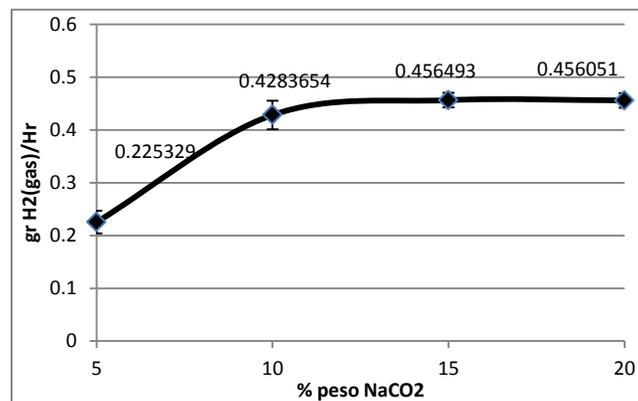


Figura 8. Producción de hidrógeno (gas) en gramos por hora a diferentes concentraciones de electrolito NaCO<sub>3</sub>  $C_v < 10$   $\sigma = 0.0194$

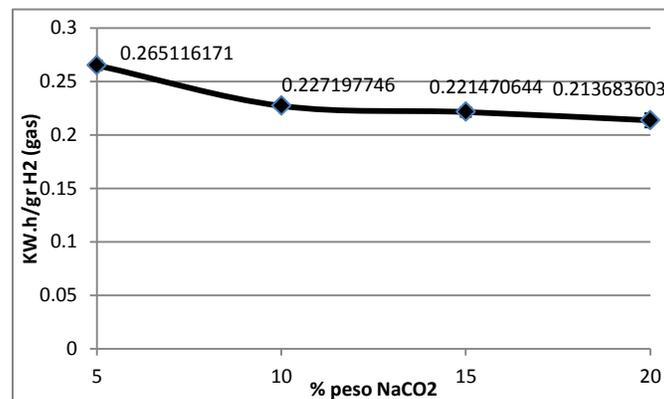


Figura 9. Consumo de energía eléctrica en KW.h por gramo producido de hidrógeno (gas) a diferentes concentraciones de NaCO<sub>3</sub>  $C_v < 10$   $\sigma = 0.00439$

Como se puede ver en las Figuras 8 y 9, a 15 % en peso de  $\text{NaCO}_3$  se tiene mayor velocidad de producción  $0.4564 \text{ gr H}_2(\text{gas})/\text{hr}$  y a 20 % en peso se demanda menos energía por gramo de hidrógeno generado por el electrolizador  $0.2136 \text{ KW.h/gr H}_2(\text{gas})$ . También los resultados arrojan que después de 10 % en peso la velocidad de producción se estabiliza esto es por constante de ionización del  $\text{NaCO}_3$  a este punto la solución esta sobresaturada, esto se solucionaría aumentando la temperatura de operación del electrolizador.

Los resultados arrojaron que el punto ideal de operación del generador de hidrógeno alcalino es a 10 % en peso con  $\text{KOH}$  con  $1.947 \text{ gr H}_2(\text{gas})/\text{hr}$  y  $0.242 \text{ KW.h/gr H}_2(\text{gas})$ .

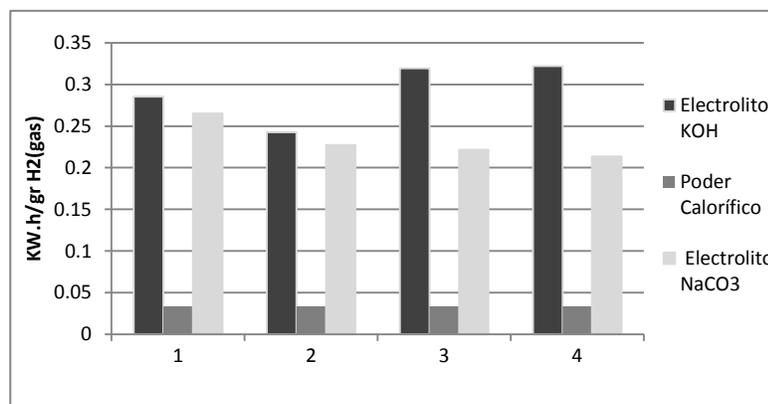


Figura 10. Energía necesaria para generar hidrógeno usando  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaCO}_3$  y la cantidad de PC que aporta esa masa de  $\text{H}_2(\text{gas})$  generada.

Como se puede observar en la figura 10, se necesita 320 watts de energía para producir un gramo de hidrógeno, en comparación a la cantidad de energía que nos puede proporcionar esa misma cantidad de hidrógeno con un 89.71 a 87.375 % de la energía.

### Conclusiones

La estructura empleada para construir el generador de hidrógeno, cumplió con el objetivo de obtener el hidrógeno  $(\text{gas})$  y oxígeno  $(\text{gas})$  por separado y no como mezcla, las pruebas concluyentes fue general un litro de hidrógeno por cada litro de oxígeno.

La generación de hidrógeno por electrólisis alcalina tiene que combinarse con una energía renovable como por ejemplo paneles solares, generadores eólicos, de otra forma el proceso jamás será rentable puesto que el 89.71 a 87.375 % de la energía no se transforma en hidrógeno, lo cual se obtiene poca energía potencial calorífica.

En el caso del generador de hidrógeno alcalino que se construyó, es óptimo operarlo con una solución alcalina al 10 % peso de KOH, para mantener un punto deseable en velocidad de reacción y consumo de energía por gramo de hidrógeno generado.

#### *Referencias*

- Domínguez, R. J., Lerma, E. J., & Meneses, L. M. (2008). *Mexico en la Coyuntura Energetica Mundial*.
- Erice, D. A. (2009). *Evaluacion técnica ecónimica de una planta de producción de hidrogeno mediante electrolisis del agua utilizando energia eléctrica producidas con celdas fotovoltaicas de alta eficiencia*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Feria, S. (2003). *Potencial del Hidrógeno en el Desarrollo Energético Nacional: Capacidad Técnica-Sector Académico*. Mexico: Sociedad Mexicana del Hidrógeno, A. C.
- Hoffmann, P. (2001). *Tomorrow's Energy*. Cambridge, Massachusetts.: The MIT Press.
- King, H. (1971). Poryección de las reservas mundiales de petroleo y su agotamiento. *Scientific American*.
- National Academy of Engineering. (2004). *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*. Washington, D. C.: The National Academies Press.
- Piarpuezan, H. F., & Manosalvas, H. R. (2012). *Contrucción y Adaptación de un Sistema Generador de Gas Hidrogeno para Suministrarlo a un Motor de Combustión Interna*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

#### Capítulo IV. Delimitación de micro cuencas urbanas topográficas

Arturo Cervantes Beltrán<sup>1</sup>, José Dolores Beltrán Ramírez<sup>1</sup>, Jesus Antonio Ponce Zavala<sup>1</sup>,  
Dagoberto López López<sup>1</sup> y Francisco Enrique Montaña Salas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil, <sup>2</sup>Departamento Ciencias del Agua y Medio Ambiente  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [arturo.cervantes@itson.edu.mx](mailto:arturo.cervantes@itson.edu.mx)

##### **Resumen**

El crecimiento de Ciudad Obregón, Sonora, ha generado un mayor escurrimiento superficial de agua pluvial, esto debido al aumento de la impermeabilidad en la ciudad, incrementando el volumen de agua pluvial, volviendo a la micro cuenca urbana más sensible a tormentas intensas de corta duración, ya que el agua en su recorrido encuentra superficies más impermeables, aumentando la velocidad del escurrimiento y así reduciéndose el tiempo de concentración. Esto ha ocasionado que el agua de la lluvia sea conducida por la misma pendiente de las calles, de la misma manera son encausados a los drenajes sanitarios, causando la saturación y fallas en estos sistemas, reflejándose con problemas de vialidad, hundimientos y genera inundaciones temporales de áreas urbanas durante la lluvia o inmediatamente después de ella. Conocer el comportamiento de los flujos superficiales de agua pluvial, aplicando métodos topográficos e hidrológicos ayudará a establecer su incidencia, y a partir de ahí generar soluciones para estos problemas. Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio, se realizaron los perfiles longitudinales Norte-Sur, Este-Oeste, y el plano de curvas de nivel utilizando el programa CivilCAD. Se determinaron las direcciones de flujos superficiales y se delimitaron las micro cuencas detectadas. La dirección predominante de los flujos fue hacia el Oeste del área, calle Michoacán, cambiando su dirección hasta llegar a la calle Rodolfo Félix Valdez, y hacia el sureste del área en calles Coahuila, Zacatecas y Chihuahua con calle Juan Escutia, que forma encharcamiento considerable con una profundidad de 60 cms.

*Palabras clave:* micro cuencas urbanas, agua pluvial, escurrimiento.

##### **Introducción**

La urbanización de la población a nivel global y en los países en desarrollo en particular se ha convertido en un proceso no sólo irreversible, sino creciente. Este hecho ha convertido a las ciudades en conglomerados humanos (Antequera, 2007).

La concentración de la población en las zonas urbanas es un reflejo de la migración del campo a la ciudad y de la reclasificación de las zonas rurales en urbanas. Este crecimiento se ha venido haciendo sin considerar la interacción que existe entre el medio urbano y las cuencas donde se asientan. La interacción de la ciudad, la cuenca, los ríos o las lluvias aunadas a lugares con pendiente debe ser considerada adecuadamente para prevenir riesgos (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Ciudad Obregón, municipio de Cajeme, tiene una topografía plana, con una pendiente que va del 0.05 al 1% en promedio, y ha presentado en las últimas décadas un significativo crecimiento poblacional y, como consecuencia, un aumento de las superficies impermeables. Este crecimiento hace necesario adecuar el sistema de drenaje pluvial y sanitario existente a las nuevas condiciones imperantes. En particular, la ciudad sufre periódicamente inundaciones de distintas características:

- a) las provocadas por las lluvias de cierta intensidad (por ejemplo 15 mm) y agravadas debido a la drástica reducción de las áreas naturales y/o por el aumento de las superficies impermeables (calles pavimentadas, banquetas, techos, estacionamientos, etc.);
- b) las originadas por una insuficiente capacidad de los conductos de drenaje pluviales y/o sanitarios.

Éstas tienen su origen en la propia ciudad, y si bien, tienen una duración de apenas pocas horas, producen graves problemas al funcionamiento normal de la ciudad.

Es por ello la importancia de poder delimitar las microcuencas urbanas críticas, para conocer donde tenemos los mayores problemas y a partir de ahí proponer soluciones a esta problemática. Romero (2005), define la cuenca urbana como la expansión de las ciudades sobre las cuencas hidrológicas y Campos (2010a) la define en relación a tres aspectos, a) su dimensión (hectáreas y difícilmente llegan a  $\text{km}^2$ ), b) el tiempo de respuesta (de minutos y máximo horas) y c) la trayectoria del flujo (es modificado por calles muros y obstáculos). Por ello, para esta investigación consideramos como una cuenca artificial o microcuenca urbana, al espacio hidrológico que por efecto de los avances urbanísticos y la generación de infraestructura ha generado patrones de drenaje que son controlados por los gradientes que el ingeniero ha establecido en las vías de comunicación y fraccionamientos.

### *Objetivo*

Delimitación de microcuencas urbanas, mediante el comportamiento de los flujos superficiales de agua pluvial, aplicando métodos topográficos e hidrológicos para establecer su incidencia.

### *Antecedentes*

El crecimiento de la ciudad a partir del aumento poblacional y también la mala planeación, se ha convertido en un factor determinante para los profundos cambios que se han producido en el revestimiento de los suelos, mejoramiento en los cauces naturales y el sistema de drenaje natural por medio de canales, zanjas y colectores pluviales enterrados. Los efectos de la urbanización en una cuenca se traducen en gastos pico mayores e hidrogramas de respuesta más esbeltos. Esto es debido principalmente a una mejor eficiencia hidráulica del área impermeable para generar y conducir el escurrimiento que produce la lluvia (Campos, 2010b).

Las microcuencas urbanas están caracterizadas por el incremento de la impermeabilización y la reducción de la infiltración debido al revestimiento del suelo, como consecuencia de la construcción de edificios, pavimentación de calles y otros, produciendo un impacto directo sobre las condiciones de escurrimiento (Campos, 2010a). Estas áreas totalmente impermeables que resultan de los usos del suelo y coberturas superficiales tienen relación directa con los coeficientes de escurrimiento del agua caída sobre el área, que al no poder infiltrar, escurre (Romero & Vásquez, 2005).

Es bien conocida la problemática de inundaciones que vienen produciéndose en centros urbanos a lo largo del país. En Cd. Obregón, el sistema de drenaje sanitario tiene más de 30 años en gran parte de la ciudad, el agua corre bajo cavernas que se agrandan y colapsan con las lluvias. Esto hace necesario que para mitigar los hundimientos hay que mejorar los drenajes sanitarios, debido a que la ciudad tiene un sistema con materiales no adecuados para conducir el agua; en algunos puntos, en lugar de un tubo hay una caverna y cuando hay mucho flujo de agua este paso subterráneo se erosiona, se hace más grande y se derrumba, provocando que se colapse la calle. Por otro lado, las inundaciones en Cajeme se deben a que la ciudad no cuenta con un sistema de drenaje pluvial adecuado ni suficiente, en algunos sectores se encuentra dañado y en otros se encuentra adherido al sistema de drenaje y no son suficientes para todo el flujo de agua que reciben (Sabatini, 2010).

El estado deteriorado de los drenajes sanitarios en varias partes de la ciudad es el responsable de los hundimientos, mientras que las deficiencias en los insuficientes colectores pluviales son las que provocan las inundaciones cuando las lluvias superan los

15 mm en muchas calles del Municipio. En este trabajo se analiza la incidencia de flujos superficiales de agua pluvial en el sector sur de ciudad Obregón, donde los puntos críticos están en las colonias Faustino Félix, Cortinas, Sochiloa, comprendiendo todas las calles entre el bulevar Ramírez y la calle 300 de la Tabasco al poniente (Sabatini, 2010).

En el inicio de la urbanización de Cd. Obregón, se proyectó una red de drenaje pluvial, pero por factores que se desconocen no se instaló por completo, esto ha ocasionado que el agua de la lluvia sea conducida por la misma pendiente de las calles, llegando a zonas más bajas y sin salida, provocando inundaciones, de la misma manera son encausados a los drenajes sanitarios, causando la saturación y fallas en estos sistemas. El resultado son problemas de vialidad, hundimiento en casas, calles y acarreo de tierra y basura, generando azolvamientos, como lo muestra la Figura 1. Es por ello, que es importante establecer las zonas de inundación y así generar información relevante para desarrollos de ingeniería apegados al plan de desarrollo, evitando generar cuencas artificiales.



Figura 1. Problemas provocados por las lluvias.

### **Metodología**

Mediante la interpretación de la topografía, se definirá el comportamiento de los flujos superficiales para el sector en estudio, pudiéndose identificar las microcuencas urbanas que se encuentran en dicho sector.

El procedimiento se llevó mediante el levantamiento topográfico del sector, tomando como referencia los centros de calles para después, mediante un plano de curvas

de nivel, interpretar y correlacionar los datos obtenidos, así como referenciar los vértices del área de estudio.

Primero con el uso del GPS se localizó la zona de estudio que se encuentra ubicada en Ciudad Obregón, Sonora, en las coordenadas UTM, zona 12N, como se muestra en la Figura 2.

### *Levantamiento topográfico*

- a) Control horizontal (planimetría). Se estableció siguiendo los ejes principales de las calles del sector, haciendo la medición con distanciómetro Redmin2, entre los puntos fijos de control, establecidos en todos los cruces del sector. Para la elaboración de los planos planimétricos se utilizó el paquete computacional AutoCAD versión 2014.
- b) Control Vertical. Se obtuvo con una nivelación de perfil que arrojó las elevaciones de los ejes del sector. Para la elaboración de los planos altimétricos, de perfiles y curvas de nivel, se utilizó el paquete computacional CivilCAD 2014.



Figura 2. Delimitación de área de estudio.

Para el establecimiento de los flujos superficiales se hizo siguiendo las curvas con cota mayor hacia las de cota menor, en los planos elaborados con anterioridad. Posteriormente se hizo la localización de las zonas críticas, considerando la dirección de los flujos superficiales, siguiendo la dirección se detectaron las zonas de depresión (microcuencas). Por último se hizo una recopilación de datos históricos de incidencia hidrológica en el sector, entrevistando a moradores del lugar, y así establecer el nivel máximo de inundación.

### Resultados y discusión

Se obtuvieron las curvas de nivel de la zona de estudio, donde las curvas de mayor nivel estuvieron al Este con un decremento en el nivel de las curvas con dirección Oeste, esto de manera general para toda el área.

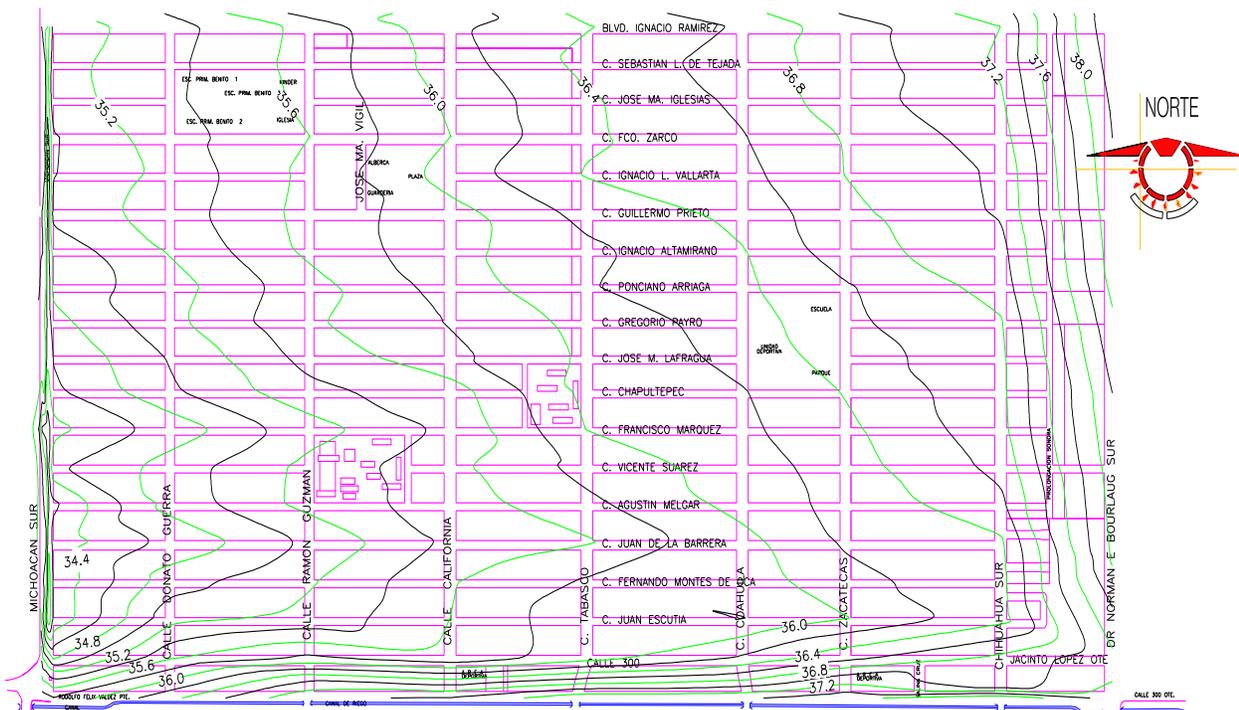


Figura 3. Curvas de nivel del área de estudio.

Para el cálculo de la pendiente media se realizó usando la ecuación de Taylor y Schwarz, ya que esta ecuación trata de ajustarse a la pendiente real, considerando las diferentes longitudes y pendientes que se presentan en un tramo (Aparicio, 1999).

En este estudio las pendientes de las calles se calcularon de Este a Oeste y de Norte a Sur, siguiendo el mismo orden de los perfiles, ya que en el plano de curvas de nivel se aprecia como las pendientes decrecen en esos sentidos (se consideró una pendiente decreciente como positiva y una pendiente creciente como negativa).

En las calles del sector en estudio con orientación Este-Oeste, las pendientes medias son similares de 0.10 a 0.14% en general, en cambio las calles con orientación Norte-Sur las pendientes medias son más pequeñas y constantes. Para las calles Dr. Norman E. Borlaug, Chihuahua, Zacatecas y Coahuila el rango es de 0.05 a 0.10%, cambiando su pendiente al llegar a la Av. Rodolfo Félix Valdés entre las calles Chihuahua y Coahuila (-0.2 a -1.17%).

Para indicar los flujos superficiales se unieron los puntos más bajos, obteniéndose corrientes de primer orden (tributario sin ramificaciones) y una de segundo orden. La división de estos flujos está dada por el parteaguas, línea imaginaria formada por la unión de los puntos de mayor elevación (Aparicio, 1999) y que separa una microcuenca de otra. Se identificó un tipo un drenaje tipo enrejado con dirección de flujo hacia el Oeste del área de estudio (calle Michoacán), y una incidencia de flujos hacia el Sureste del área, determinando así una cuenca cerrada que forma encharcamientos considerables con un nivel máximo de 60 cm. en las calles Coahuila, Zacatecas y Chihuahua, con la calle Juan Escutia.

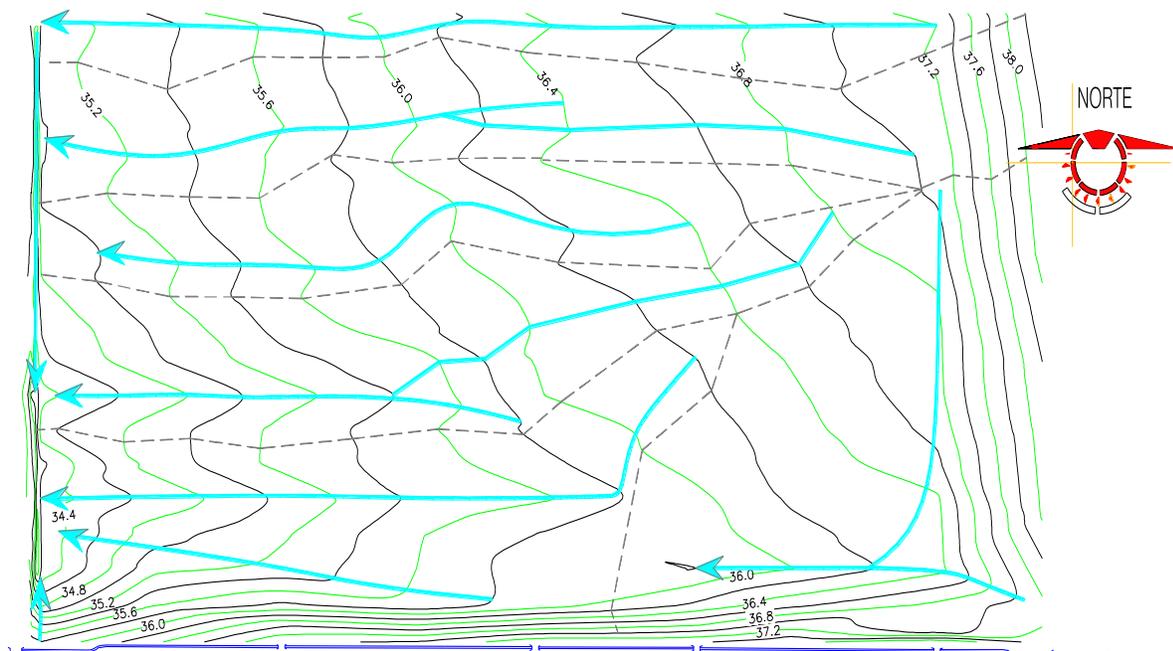


Figura 4. Flujos Superficiales de agua pluvial.

Los flujos, cuencas y direcciones de las pendientes, indican las zonas críticas, siendo estos puntos topográficamente más bajos y hacia donde se dirigen todos los escurrimientos. En el sector estudiado, las zonas críticas se observan al suroeste (Michoacán y Rodolfo Félix Valdés) y al Sur (Coahuila, Zacatecas y Chihuahua, con la calle Juan Escutia). En la figura 5 se muestra de forma clara las zonas críticas, que para el suroeste del sector sigue la curva con cota igual a 34.764 msnm, de acuerdo al nivel de 50 cm sobre el pavimento señalado por moradores del lugar, en el desemboque de los flujos superficiales (calle Juan Escutia y Michoacán). Detectar la zona crítica es importante, ya que en ella se pueden observar los sectores con riesgo de inundación provocados por la incidencia de flujos superficiales.

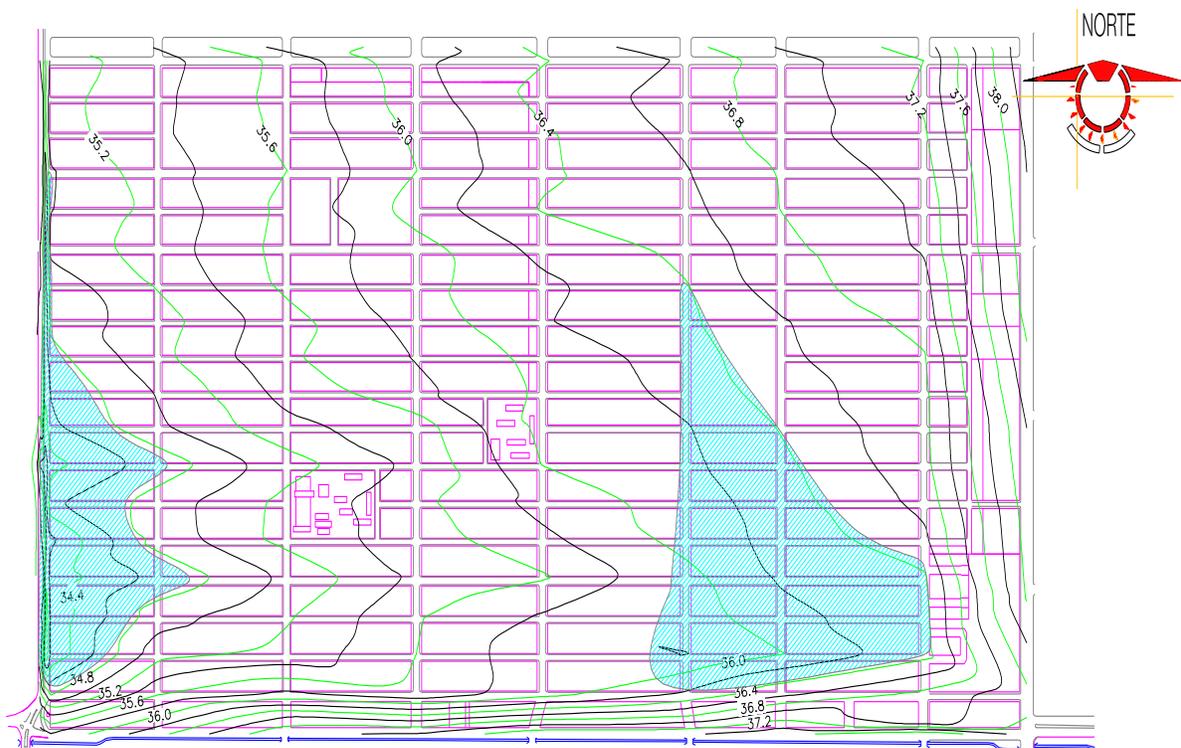


Figura 5. Localización de microcuencas urbanas críticas para la zona de estudio.

### ***Conclusiones***

La dirección predominante de los flujos es hacia el Oeste del área de estudio, específicamente hacia la calle Michoacán, cambiando su dirección hasta llegar a la calle Rodolfo Félix Valdés, determinándose como la zona más crítica y hacia el sureste determinado una microcuenca cerrada, que forma encharcamiento considerable con profundidad máxima de 60 cm en calles Coahuila, Zacatecas y Chihuahua, con la calle Juan Escutia.

Toda información obtenida es importante en proyectos de ingeniería apegados al plan de Desarrollo del Municipio de Cajeme, para el desalojo de aguas pluviales, para el diseño y revisión de los drenajes sanitarios y pluviales, ya que el desarrollo urbano es la principal fuente de los problemas en las inundaciones.

### ***Recomendaciones***

- Aplicar esta metodología, para identificar las microcuencas urbanas en toda la ciudad.
- Llevar a cabo estudios hidrológicos para hacer una revisión del sistema de drenaje sanitario y su respuesta a lluvias extraordinarias.
- Determinar el impacto hidrológico por incremento de las áreas impermeables en la ciudad.

### ***Referencias***

- Antequera, N. (2007). La urbanización creciente. *Cuadernos de Estudios sociales urbanos*, 6-22.
- Aparicio, F. J. (1999). *Fundamentos de Hidrología Superficie*. México: LIMUSA.
- Campos, D. F. (2010a). *Introducción a la Hidrología Urbana*. (Autor, Ed.) San Luis potosí: Edición del autor.
- Campos, D. F. (2010b). Corrección de gastos máximos e hidrogramas de diseño. *XXI Congreso Nacional de Hidráulica*. Guadalajara, Jalisco, México.

- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) . [fecha de consulta: 14 Enero 2015]. Disponible en:  
[http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968\\_es.pdf?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968_es.pdf?sequence=1)
- Romero & Vásquez. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de Santiago de Chile. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales( eure)*, 97-118.
- Sabatini, L. (14 al 20 de Octubre de 2010). Sólo 300 millones acabarían con los hundimientos en Cajeme. *Última Palabra* , pág. 8.

## Capítulo V. Beneficios y perjuicios de la quema del follaje del cultivo del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) en el Valle del Yaqui, Sonora

Perla Alejandrina González Tineo y Yedidia Villegas Peralta  
Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [perla.gonzalez@itson.edu.mx](mailto:perla.gonzalez@itson.edu.mx)

### Introducción

Hoy en día México se encuentra entre los principales productores y exportadores de hortalizas en el mundo; se ubica en el cuarto lugar a nivel mundial y en primero en América Latina. El país posee una gran riqueza de climas y ecosistemas que permiten la producción de hortalizas durante todo el año. De acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en el 2014, uno de los cultivos que ha cobrado mayor importancia en el país es el espárrago (*Asparagus officinalis* L.) La producción ha mostrado un crecimiento del 134% los últimos cinco años, debido tanto a un incremento de la superficie como a un mayor rendimiento del cultivo. La superficie de siembra de espárrago fue de poco más de 19 mil hectáreas en 2014 (SAGARPA, 2014). Este cultivo presenta una alta rentabilidad, producto de la demanda en el mercado internacional, lo que ocasiona una gran derrama económica así como generación de empleos para la zona, durante todo el año (280 jornales ha-1) pero principalmente durante la cosecha (Navarro & López, 2002).

El espárrago es una de las 500 especies agrícolas que se producen en México (Ver figura 1), cuyo valor económico en el 2013 fue de 3,654 millones de pesos, al producirse 126,420 toneladas de producto provenientes de cinco estados del país, cosechadas principalmente en los valles semiáridos del noroeste, así como en diversos valles de Baja California (Bojórquez, 2008), donde Sonora es el estado más importante al contribuir con 69.4% del valor de la producción a esta actividad (Godina, 2015).



Figura 1. Cultivo de Espárrago en Valle del Yaqui.

En el estado de Sonora principalmente en el Valle del Yaqui, el cultivo de esta hortaliza ha tenido un repunte significativo en los últimos años, mismo que alcanza ya una superficie de 700 hectáreas de siembra en el 2011. En promedio se obtienen entre 4 y 4.5 toneladas por hectárea, dependiendo de la zona de siembra, cuyos cortes se programan cada semana o diez días en lo que la planta crece lo suficiente para ser comercializada.

Su importancia como cultivo radica también en que cada vez se conoce más su contenido nutricional y en la generación de empleos directos e indirectos en alrededor de cinco meses en que se mantienen las cosechas. La demanda de este producto ha ido en aumento, sobre todo porque la mayoría se va al mercado de exportación, lo que atrae divisas a la región. Además el espárrago es un vegetal o verdura permanente, conocido por sus propiedades nutricionales y medicinales (Villalobos *et al.*, 2009)

En este contexto se puede observar que el cultivo del espárrago es de gran importancia como actividad económica en Sonora y en el Valle del Yaqui, aunque esta actividad se ha enfrentado a fuertes críticas ya que constituye una fuente importante de contaminación de aire y suelo así como problemas serios de salud.

Separados por una línea divisoria, la quema de residuos agrícolas, representa una fuente importante de emisión de contaminantes al aire. Actualmente se queman hasta 7 mil 500 hectáreas sembradas con espárrago (Manríquez, 2013). Cabe mencionar que no todos los residuos agrícolas se queman, algunos se utilizan como alimento de ganado, para hacer composta para ser incorporada al suelo, pero, ¿qué porcentaje de residuos es quemado y que porcentaje es reutilizado en el Valle del Yaqui? ¿Es esta actividad sustentable para los municipios que la realizan?

La quema del follaje del espárrago es una práctica agrícola tradicional que consiste en quemar a cielo abierto los residuos de cosechas de cultivos y es, más que nada, una actividad arraigada en la cultura misma del agricultor, puesto que en la mayoría de los casos aprendieron esta práctica de sus padres, también agricultores. Algunas quemas agrícolas se pueden considerar “necesarias”, como lo es la quema de residuos de plantas infectadas con enfermedades, lo cual podría llegar a ser justificable para evitar problemas más serios si la planta creciera enferma, pero entonces, ¿son estas quemas justificables en el Valle del Yaqui?

La quema de residuos agrícolas sigue constituyendo una fuente importante de emisión de contaminantes al aire, de compuestos como el metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), hidrocarburos (NMHC) y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) (Quintero & Moncada, 2008). Por citar el ejemplo de un problema ocasionado por emisiones de quema agrícolas se tiene la reducción de la habilidad de la sangre para suministrar oxígeno a los tejidos del cuerpo evitando su absorción en los pulmones y perjudicando su descarga al organismo. En cuanto a la emisión de partículas de carbono, estas, absorben vapores orgánicos (posiblemente tóxicos) del humo que pueden estar cubiertas de contaminantes dañinos, que podrían a su vez, quedar atrapadas en los pulmones durante años, y esparcir su carga a los vasos capilares sanguíneos cercanos. Las partículas suspendidas son un contaminante dañino para la salud muy importante puesto que por su tamaño y peso tan pequeño (menores incluso a un cabello) pueden permanecer suspendidas en el aire durante semanas y quizás meses. Cuando las partículas suspendidas se inhalan, pasan con facilidad a lo más profundo de los pulmones, atravesando la mucosidad protectora que reviste las vías respiratorias, posteriormente se detiene en los alveolos y es ahí donde se hacen los intercambios vitales de gas sanguíneo (Chow & Watson 2006). ¿Qué pasa entonces con las partículas emitidas por las quemas agrícolas del follaje del espárrago? ¿Cuánto tiempo las personas a los alrededores de las quemas respiran y tiene contacto con estas partículas? Podría ser durante semanas o meses incluso después de realizada la quema. ¿Quiénes en la región del Valle del Yaqui son los responsables de dar respuesta a estas importantes interrogantes?

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) estima que la agricultura es responsable de cerca del 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), un volumen similar al originado por el sector del transporte (IPCC, 2008), esto quiere decir que las quemas agrícolas producen cantidades de contaminantes comparables con los automóviles. ¿Si se habla tanto sobre la contaminación producida por el sector del transporte, porque no abordar con mayor seriedad las emisiones originadas por las quemas agrícolas?

Debido a las necesidades que las empresas productoras de hortalizas demandan hoy en día, varias Sociedades Hortícolas del Estado de Sonora se encuentran en un proceso en el cual desean certificarse como empresas socialmente responsables (RSC, Certificación de

Responsabilidad Social Corporativa), por lo que se ha buscado apoyo del área de Ingeniería en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Sonora, para la elaboración de diversos proyectos que apoyen el desarrollo de un plan completo de mitigación para este problema y que sirva como apoyo ante instancias oficiales del gobierno para su certificación. Las investigaciones realizadas en este documento forman parte de diferentes proyectos encaminados a dar respuesta a algunas de las interrogantes anteriormente aquí planteadas.

El objetivo de este trabajo es profundizar acerca de los beneficios de cultivar el espárrago y los perjuicios que de esta práctica se derivan, definiendo claramente los motivos de la quema del follaje de este cultivo, de tal forma que se elabore un estudio completo de los impactos ambientales que genera la quema del follaje del espárrago en el Valle del Yaqui.

### ***Desarrollo***

Según la rentabilidad y beneficios que se obtienen de la cosecha del cultivo ¿Qué tan conveniente es seguir cultivando esta hortaliza, si la quema para continuarla cosechando origina gran contaminación ambiental? ¿Serán mayores los beneficios producidos por su siembra si se comparan con los problemas ambientales y de salud que ocasiona?

A raíz de estas preguntas se derivan diferentes opiniones en lo particular, un ejemplo es el impacto generado al suelo por la quema del espárrago debiera tener ciertas restricciones, ya que en determinado momento este recurso puede perder sus propiedades para seguir siendo utilizado, sin embargo el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios, así como las restricciones están regulados en todo el territorio nacional por la Norma Oficial Mexicana NOM-015 (Diario Oficial de la Federación, 1999). En ella se menciona que la SEMARNAP, hoy conocida como SEMARNAT, y la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR), mediante convenios de coordinación con los gobiernos estatales, establecen un sistema para calendarizar y programar, en acuerdo con los productores, las quemas agropecuarias en los municipios y distritos de desarrollo rural. En el Valle del Yaqui las quemas se establecieron en los meses los meses de Abril y Septiembre (lo anterior permite a los productores de espárrago, realizar la quema del citado vegetal, siempre y cuando ésta sea controlada o calendarizada (SEMARNAT, 2015).

Una de las razones más importantes para quemar los residuos de las cosechas del espárrago, es la eliminación de maleza, sobre todo en parcelas muy infestadas, principalmente con maleza perenne difícil de erradicar, como la grama, que además dificulta el manejo del suelo, además de eliminar plagas o huevecillos de las mismas y humedad que provocaría hongos en el cultivo. Por otra parte técnicamente con la quema el agricultor posee mayor facilidad para incorporar el follaje al suelo lo cual es una preparación del mismo para el siguiente cultivo. Por último con la quema del follaje del espárrago el agricultor evita la realización de varios pasos de maquinaria, lo cual equivale a ahorrar combustible, operadores y desgaste de equipos.

Por otra parte no solo se considera el impacto al suelo, sino también al aire como recurso natural principalmente afectado. La contaminación del aire por combustión de follaje de residuos agrícolas perjudica a millones de personas cada día. En la mayoría de las áreas urbanas, las fuentes industriales y los vehículos crean y contribuyen de igual manera al problema como las quemas agrícolas en zonas rurales donde las emisiones pueden viajar por la acción del viento a cualquier zona (Quintero & Moncada, 2008).

Los desechos agrícolas constituyen un combustible sólido, y varían desde una paja ligera hasta una madera densa, además, contienen cantidades variables de minerales (que producen cenizas al quemarse) y humedad. Quemar a bajas temperaturas produce humo, que es el resultado de una combustión incompleta, lo cual produce CO, cenizas y otros contaminantes de efecto invernadero (Curry, 2006), por lo que la temperatura es un factor importante al tomar en cuenta para realizar la quema.

La quema de residuos agrícolas llama la atención debido a la baja eficiencia de la combustión, lo cual provoca mayor cantidad de contaminantes, así como lo difícil de su regulación. La preocupación por los perjuicios a la salud y la contaminación que causan ha conducido a las pruebas de campo de las emisiones de humo. Los estudios de laboratorio representan una buena alternativa, para la realización de análisis completos que nos puedan demostrar cuantitativamente la verdadera cantidad de contaminantes emitidos (Wendel *et al.*, 2004). ¿Hay verdaderamente repercusiones de salud en los pobladores del Valle del Yaqui a causa de las quemas del follaje de esta planta?

En la mayoría de los casos, cuando la quema se realiza de manera apropiada y sujeta a normas, se convierte en la fuente más visible de contaminación del aire en un área

específica, sin embargo, debido a que las quemas agrícolas emiten un gran número de contaminantes a la atmósfera, perjudican la calidad del aire a escala local, regional y global, por lo tanto aunque no nos encontremos viviendo cercanos al Valle del Yaqui si no a 100 km del mismo es posible presentar problemas de salud a causa de esta actividad. ¿Se apoyaran entonces mayor cantidad de normas y estudios que regulen esta actividad, aunque no vivamos cercanos a la misma?

En la Figura 2 se puede observar el humo contaminante ocasionado por la quema de espárrago en el Valle del Yaqui. La Universidad del Estado de Arizona llevó a cabo un estudio para simular la dispersión de partículas suspendidas de las quemas de residuos agrícolas en San Luis Río Colorado, Sonora y Yuma/San Luis, Arizona, utilizando el sistema de modelación CALPUFF/CALMET/mm5. Los resultados obtenidos demostraron que las plumas de humo no se dispersan mucho, y por lo regular el área cercana es la más dañada, sin embargo esto depende de la velocidad del viento el cual puede viajar largas distancias cargado de estos contaminantes. Si se considera el daño de las partículas secundarias derivadas de los óxidos de nitrógeno, su influencia puede ser muy grande. (Fernando, 2004).



Figura 2. Quema de follaje de espárrago en el Valle del Yaqui.

En la Tabla 1, se observa la cantidad de contaminantes emitidos por cada hectárea de residuos quemados con lo que se demuestra la importancia de las emisiones dañinas emitidas al aire originadas por las quemas agrícolas.

Tabla 1. Kilos de contaminantes emitidos por la quema de paja de trigo en el Valle de Mexicali en el año 2004, y donde se muestra la supremacía en la emisión de CO sobre el resto de contaminantes (Quintero & Moncada, 2008).

Lugar/año	Hectáreas quemadas	CO (kilos)	H <sub>2</sub> C <sub>2n+2</sub> (kilos)	PM <sub>10</sub> (kilos)	NO <sub>2</sub> (kilos)
Valle Imperial					
Año/ha sembradas					
2003/ 24 810	7 225	1 683 425	140 886	202 300	63 219
2004/ 22 074	6 402	1 491 666	124 839	179 256	56 018
Valle de Mexicali					
Año/ha sembradas					
2003/ 70 035	59 530	13 870 490	1 160 835	1 666 840	520 888
2004/ 101 900	86 615	20 181 295	1 688 993	2 425 220	757 881
Total					
Hectáreas sembradas					
2003/2004: 218 819	159 772	37 226 876	3 115 553	4 473 616	1 398 006

Esto se derivó de un estudio aplicado a los campos agrícolas del estado de California en Estados Unidos. También se muestra que las cantidades de CO son muy superiores a los demás contaminantes, ello indica que se deben tomar medidas para una quema adecuada o para reducir la superficie en que se realizan las quema (Quintero & Moncada, 2008).

Es sabido lo difícil que es erradicar las quemas de residuos agrícolas puesto que esta práctica forma parte de la cultura del agricultor, pero sí se puede reducir al mínimo de emisiones a través de un programa controlado para que se produzca menos humo, con técnicas de combustión del follaje adecuadas y residuos con la menor humedad posible, ya que esta humedad es causante de combustiones que provocan un mayor número de contaminantes.

Por otra parte, se puede incorporar el follaje del esparrago al suelo, con grandes ventajas para su mejoramiento orgánico. Aunque al principio el agricultor puede tener dificultades, a largo plazo tendrá un suelo con mejores características agronómicas. También se debe considerar el uso del follaje en la elaboración de composta o pellets para su uso como carbón vegetal el cual es un proyecto más derivado de este trabajo que se está desarrollando Ingeniería en Ciencias Ambientales e Ingeniería Química de la institución, lo anterior como una alternativa más hacia una agricultura de conservación. Como una técnica

adicional, se recomendaría utilizar el follaje para la elaboración de bloques de adobe para la construcción de paredes, pues son excelentes aisladores térmicos.

Desde el punto de vista de los involucrados en este proyecto algunas de las principales alternativas son las siguientes:

**Incorporación de la paja de trigo al suelo:** Para incorporar la paja a la tierra usar arado. Esta modalidad permitirá un aporte importante de materia orgánica al suelo y su posterior humificación; además, facilita la concentración de agua, aumentando la humedad residual del suelo.

**Compostaje:** Es un abono natural que resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación realizada por microorganismos que liberan energía. Las técnicas de compostaje varían, principalmente, de acuerdo a las condiciones de aireación, período de volteo y calidad requerida en el producto final. Éstas corresponden a pilas estáticas, pilas estáticas aireadas pasivamente, pilas aireadas forzadamente y pilas de volteos o en hileras.

**Trituración de residuos:** A través de la utilización de máquinas trituradoras se acelera la desintegración e incorporación de los desechos al suelo. En otras ocasiones, éstos son transportados a centros de acopio y utilizados para la obtención de otros productos combustibles (pellets y briquetas). Esta técnica es usada en terrenos planos o con pendiente moderada.

**Picar o cortar:** El rastrojo se tritura en trozos y se deja sobre la superficie del suelo. Si las cantidades son grandes, se debe picar más fino, con el fin de disminuir el volumen y facilitar la siembra. Una vez que el material ha sido picado, se usa un rastrillo de lado que acumula el residuo en filas cada 7 a 10 m. La siembra se realiza entre hileras, dejando sin sembrar el área ocupada por las líneas de rastrojo.

**Obtención de alimento para rumiantes:** En la actividad agrícola, especialmente en la de cultivos, se genera un gran número de diversos subproductos y residuos que no son utilizados o lo son en pequeña proporción para la alimentación de animales, entendiendo que el alimento adecuado para rumiantes es aquél que posee un elevado porcentaje de digestibilidad, palatabilidad y un alto valor nutritivo.

Aprovechamiento semi-industrial de los residuos: Otros usos más específicos y de carácter semi-industrial que se les da a estos residuos son: fabricación de tableros para la construcción y aislante de muros, carbón activado, papel, briquetas y pellets para leña, barreras antirruído; además, producción de bioetanol, cultivo de lombrices, control de la erosión y estabilización de suelos.

En cuanto a incentivos en Baja California el Distrito de Control de la Contaminación del Aire de Valle Imperial (IVAPCD, por sus siglas en inglés) ha implantado alternativas e incentivos para los usuarios que tienen permisos para realizar quemas agrícolas y que no las practiquen (Poirez, 2006). Quienes deseen participar deben llenar una solicitud y enumerar los campos por compuerta/canal, cruce de caminos, tipo y disposición de la biomasa y número de acres a quemar, y pagar una cuota de 85 dólares. El solicitante reconoce, mediante su firma, que las parcelas que cubren la solicitud estarán inscritas en una lista de no quema.

El personal del IVAPCD conduce una inspección visual para verificar la disposición de la biomasa a quemar. Después de verificar que la parcela no fue quemada, se otorga el certificado de ERC (Estímulo económico del programa Crédito por Reducción de Emisiones por sus siglas en inglés) que especifica la cantidad de contaminantes (en toneladas), firmado por el oficial de control de la calidad del aire (Poirez, 2006).

¿Siendo esta región una zona de importancia agrícola en el país porque no se han implementado mayor cantidad de incentivos para evitar esta actividad en el Valle del Yaqui?

De acuerdo con el Banco de Crédito de Reducción de Emisiones Agrícolas de Valle Imperial, en Baja California en la actualidad los créditos de reducción de emisiones agrícolas para Partículas emitidas por la quema se venden por 400 o 500 dólares por tonelada; para monóxido de carbono cuesta de 300 a 400 dólares. Para compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés) varía entre 700 a 800 dólares, por lo que implementar este programa en el estado de Sonora para la quema del follaje del espárrago puede ser una excelente alternativa a la quema del mismo (Quintero & Moncada, 2008).

En el municipio de Cajeme Sonora, la cuota fijada por la Dirección de Ecología es de alrededor de 400 pesos por hectárea, lo cual es un valor significativo si esta se multiplica por las miles de hectáreas cultivadas en el Valle de Yaqui; pero ¿Es esta cuota que pagan

los productores utilizada para mitigar estos impactos ambientales? Si la respuesta a la interrogante anterior es positiva, ¿Dónde está la evidencia?

### ***Conclusiones***

Para que el desarrollo de cualquier actividad económica sea sustentable, debe haber un equilibrio entre la economía regional y el cuidado del medio ambiente así como de la salud de los pobladores de la zona. La aportación de contaminantes de las quemas de residuos agrícolas seguirá siendo una práctica presente entre los productores de hortalizas en Sonora, ya que la agricultura continuará siendo intensiva, pues constituye una de las principales fuentes económicas de la región. Es un hecho que el uso de esta práctica no disminuirá mientras existan inconvenientes económicos y falta de mayores reglamentaciones y estímulos. Sin embargo la siembra del cultivo del espárrago crece cada año aportando a la generación de empleos directos e indirectos, por lo cual sin duda alguna el espárrago seguirá siendo un cultivo presente en el Valle.

Debido a que los residuos agrícolas en el campo son considerados como fuente de emisión de gases de efecto invernadero y el cultivo seguirá siendo sembrado mientras posea rentabilidad, son necesarias mayor número de investigaciones dirigidas a verificar la presencia de contaminantes en los humos de las quemas agrícolas. Por lo anterior nos encontramos desarrollando diferentes proyectos enfocados a cuantificar algunas de las principales emisiones de la quema de este cultivo, así como las diferentes alternativas de convertir el follaje en diferentes materiales para su utilización.

Por ultimo cabe resaltar que es imperativo promover una producción de cultivos de manera ecológica y sustentable, así como revisar las normas existentes, actualizarlas y aplicarlas en beneficio del medio ambiente, y aunque el cultivo del espárrago seguirá siendo altamente rentable la necesidad de una revisión detallada de los beneficios y perjuicios que surgen a raíz de su quema será inminente para definir nuevas normas o reglamentos. Es necesario trabajar de la mano del gobierno así como de instancias federales y organismos internacionales que regulen la protección al medio ambiente sin dejar por un lado el crecimiento o desarrollo de la sociedad, en conclusión necesitamos crecer y sembrar nuestros cultivos de una manera sustentable. ¿Lograremos en un futuro que la

agricultura sea sustentable? ¿Cuáles serán las medidas determinantes que debemos tomar para que esta actividad económica no sea perjudicial para el medio ambiente?

### ***Referencias***

- Chow, J. C. & J. G. Watson. (2006). Overview of Ultrafine Particles and Human Health. En *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards*. 619–632.
- Curry, B. (2006). Joint Advisory Committee for the Improvement of Air Quality in the Paso del Norte Region, ponencia presentada en la primera Mesa binacional de trabajo sobre calidad del aire de los valles de Mexicali e Imperial, Mexicali.
- Fernando, H. J. (2004). Agricultural Burns Surrounding the San Luis Border Region: Plume Pathways and Health Effects. SCERP project number: A–04–07.
- Godina G. (2015). La producción de espárrago en México (II). *El economista*.20.
- INE. (2002) Instituto Nacional de Estadística. “Informe de la situación y de los conocimientos actuales sobre las principales fuentes y emisiones de dioxinas en México”.
- INE. (2002). Instituto Nacional de Estadística. Protocolo de Kioto, “Anexo A “. Categorías y sectores de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. México, D.F. Disponible en internet en: [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx).
- IPCC. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 104.
- Manríquez M. (2013). Programan quema de espárrago controlada en la región. *Ariete*.
- Mejía (2004). Characterizing Emissions for Agricultural Burning in a Pilot Scale. SCERP project number A–04–02.
- Navarro, A.J.A. & López C.A. (2002). Tecnología para el manejo del espárrago en el noroeste de Sonora. INIFAP. CIRNO. CECAB. Publicación Técnica, 6 (1).
- Poirez, B. (2006). Agricultural Burn Program and Smoke Management Program Presentation. Reunión del equipo de trabajo de calidad del aire de Mexicali e Imperial.
- Quintero N. & Moncada A. (2008). Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California Región y sociedad, 20 (43).

- SEMARNAP/SAGAR. (1997). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- SHCP. (2014). Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Financiera Nacional de Desarrollo. Panorama del Espárrago.
- SIAP- SAGARPA. (2014). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cifras preliminares/cifras estimadas.
- Uranda, A. A. (2002). Optimización del agua en espárrago (*Asparagus officinalis L*) bajo riego presurizado en Caborca, Sonora. Tesis de Licenciatura. UNISON. URN. Caborca, Sonora.
- Villalobos J. R., Pacheco D., Carrasco M. (2009). Anotaciones al conocimiento etnobotánico y medicinal de los espárragos extremeños (Genero *asparagus L.*) 3 (1), 41-46
- Wendel, K.C., Wagner D.A., Kelly K.E., Silcox., Caballero, G.D. M., Mejía, D. V. G. M. (2004). Characterizing Emissions for Agricultural Burning in a Pilot Scale. SCERP project number A-04-02.

## Capítulo VI. Prevalencia de *Helicobacter pylori* en niños y adolescentes de 5 a 15 años en la comunidad yaqui de Tetabiate, Sonora

José de Jesús Balderas Cortés, María Mercedes Meza Montenegro, Christian Beatriz Vega Millán e Iram Mondaca Fernández  
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 bacteria *Helicobacter pylori* actualmente está asociada a diversos problemas gastroduodenales además de ser recientemente reconocida como agente carcinogénico de tipo I. Esta bacteria es comúnmente contraída durante los primeros años de la infancia y aunque la mitad de la población mundial presenta la infección, menos del 20% desarrollará secuelas. Se ha demostrado que es en la etapa adulta donde se presentan comúnmente los primeros síntomas de infección. El objetivo del presente estudio consistió en determinar la prevalencia de la bacteria *Helicobacter pylori* mediante la prueba del aliento con urea marcada con  $^{13}\text{C}$  para conocer la presencia de la misma y tomar las medidas de intervención requeridas para su erradicación a futuro. El muestreo se realizó en 92 niños con un rango de edad de 5 a 15 años de la comunidad de Tetabiate, Sonora. El método analítico utilizado para determinar la presencia de la bacteria en los niños fue la Prueba del Aliento con Urea marcada con  $^{13}\text{C}$ , mediante la lectura de las muestras con equipo de Espectrometría de Masas Infrarrojo modelo IRIS Doc. 009093. Se usó una prueba estadística Chi-cuadrada ( $X^2$ ) al 95% de confianza con la finalidad de encontrar asociaciones entre prevalencia y diversas variables, tales como género, edad, factores familiares entre otras. La prevalencia de *H. pylori* encontrada en los niños de dicha comunidad fue del 39.04%. No se encontró asociación significativa entre prevalencia-género, prevalencia-edad ni entre diversos factores familiares y socioeconómicos.

### Introducción

El espectro de enfermedades causadas por *Helicobacter pylori* en niños no está bien definido. La mayoría de los infantes infectados son asintomáticos con desarrollo de desórdenes clínicos durante su edad temprana. La infección persiste a lo largo de la vida de los individuos y del 10 al 20% desarrolla secuelas serias como úlceras pépticas y cáncer. Debido a que se estima que la mitad de la población mundial se encuentra infectada por *H. pylori*, altos índices de mortalidad y morbilidad están asociados a ella. La mayoría de los niños infectados tienen la tendencia a presentar alteraciones microscópicas e histológicas en el estómago como consecuencia de la inflamación crónica de la mucosa gástrica. La úlcera péptica es rara en niños; sin embargo, algunos estudios han mostrado una asociación entre

*H. pylori* y úlceras duodenales en infantes. Los síntomas que sugieren úlcera incluyen dolor abdominal recurrente, dolor epigástrico relacionado con los alimentos, vómitos recurrentes, pérdida de peso y dolor abdominal nocturno entre otros. El hecho de que la mayoría de los casos sean asintomáticos, ha provocado que sea difícil determinar si la infección es la causa de dispepsia abdominal crónica o dolor en ausencia de enfermedad por úlcera (Amieva, 2008).

El género *Helicobacter* fue propuesto por primera vez en 1989 y se incluyeron las especies *pylori* y *mustelae*. Se tiene demostrando que está presente en el 98% de la gastritis crónica y en el 80% de los pacientes con úlceras gástricas (Agudo, 2010).

La colonización inicial de *H. pylori* ocurre durante la infancia (raramente en los adultos) y es causa de inflamación gástrica e hipoclorhidria. La infección gástrica y la inflamación persisten durante decenas de años y son la base de úlceras pépticas y carcinogénesis gástrica. Aunque todas las personas infectadas tienen inflamación gástrica, menos del 20% desarrolla la enfermedad, esto depende de la virulencia de la cepa, la susceptibilidad genética del huésped y factores ambientales; mientras mayores sean los factores de virulencia mayor será el riesgo en el aumento de la inflamación gástrica (Atherton, 2007). Por medio de distintos estudios se ha relacionado la prevalencia de *H. pylori* con el estatus familiar de los pacientes durante la infancia. Uno de ellos determinó la prevalencia en niños coreanos de diferentes clases económicas y reveló que la bacteria estaba presente en un 75% de la población infantil estudiada y siendo independiente al estatus económico. La incidencia encontrada fue del 12% en niños de clases altas, 25% en clases medias y 41% en clases bajas; así mismo, no se encontraron relaciones entre la prevalencia y factores como sexo, consumo de alcohol y cigarro (Malaty *et al.*, 2011). Se ha podido apreciar que la variación en la tasa de adquisición de *H. pylori* en niños varía de acuerdo al grupo étnico y grupos sociales. Esta puede estar influenciada así mismo por la dieta y factores ambientales (Dore *et al.*, 2011).

La prevalencia de la infección por *H. pylori* en los adultos de cualquier edad en los países occidentales desarrollados oscila entre el 20 y el 40% y alcanza cifras del 60 al 80% en los países del Tercer Mundo. Estos datos indican, sin lugar a dudas, que la infección por esta bacteria ocupa el primer lugar por su frecuencia entre todas las infecciones bacterianas

que afectan al género humano. Esta infección se adquiere a edades tempranas; a la edad de 10 años más del 50% de los niños de todo el mundo la poseen (González, 2004).

En Latinoamérica se han llevado a cabo estudios que han revelado la prevalencia de *Helicobacter pylori*. De manera más específica, se ha encontrado en el estado de Sonora en la población de Pótam, donde sus habitantes mostraron valores mayores de prevalencia en un estudio multicéntrico (Greenberg *et al.*, 2011). Las condiciones ambientales tales como la infección temprana, desnutrición, la ingesta de productos nitrosos, déficit de vitamina C, entre otros pueden influir al desarrollo de la propagación (Ramírez, 2006). Se estima que en la actualidad, en todo el mundo viven más de 2 000 millones de personas infectadas por esta bacteria con la capacidad expansiva que supone esta cifra (Pajares y Gisbert, 2006).

Aunque en el estado de Sonora; se ha detectado la presencia de *Helicobacter pylori* en adultos de comunidades rurales, no existen estudios que demuestren la prevalencia en niños. Por esta razón y por la facilidad de contagio una vez contraída por los adultos es necesario realizar estudios que permitan conocer el panorama en la población infantil.

En Sonora se ha estudiado y demostrado la existencia de problemas de gastritis, úlceras duodenales y gástricas como causa de la prevalencia de *Helicobacter pylori*; así mismo se ha logrado establecer una vía de tratamiento efectiva contra este problema de salud. Sin embargo, la situación actual en cuanto infección y sintomatología puede llegar a ser causa limitante en cuanto a la realización satisfactoria de las actividades cotidianas, de ausencia laboral en el caso de personas adultas y escolar, en niños y jóvenes.

Conocer el grado de prevalencia de esta bacteria en la población infantil resultaría una herramienta útil ya que de esta manera podrían implementarse tratamientos que permitan la detección y atención temprano de la infección, lo que se traduciría en la disminución en problemas gastrointestinales y cáncer en el futuro. Además en esta región no existen estudios que demuestren la prevalencia de *Helicobacter pylori* en niños, aunque sí se ha demostrado su presencia en adultos. La aportación del presente trabajo de investigación resulta de gran interés en cuanto al conocimiento de la situación de salud de un sector de la población indígena yaqui que no ha sido evaluado en relación a la prevalencia de *H. pylori*. Esto permitirá el desarrollo de nuevos proyectos y la implementación de medidas preventivas por parte del sector salud con la finalidad de mejorar esta situación.

El objetivo del presente estudio consistió en determinar la prevalencia de la bacteria *Helicobacter pylori* mediante la prueba del aliento con urea marcada con  $^{13}\text{C}$  para conocer la presencia de la misma y tomar las medidas de intervención requeridas para su erradicación a futuro.

### **Fundamentación teórica**

La mayoría de las infecciones del hombre fueron descubiertas a principios del siglo XX, por ello es extraordinario que el descubrimiento de *Helicobacter* como bacteria se retrasara hasta los años ochenta y que esto representara un gran avance en la medicina (Ramírez, 2006). En 1979 Robin Warren observó por primera vez la bacteria en el epitelio gástrico inflamado y posteriormente, en gastritis asociada a úlcera péptica (Agudo, 2010). En 1981 Barry Marshall se une a la investigación de Warren y logran encontrar bacterias curvadas en biopsias de pacientes con úlcera péptica utilizando tinciones de plata y clasificándolas en el género *Campylobacter*, especie *pyloridis*. Esta bacteria después fue llamada *Campylobacter pylori* debido a la correcta denominación del latín. Gracias a las características genotípicas donde se determinó una proporción 35-38% de guanina y citosina, se encontró que la bacteria corresponde al género *Helicobacter*, especie *pylori* que presenta de dos a seis flagelos monopares, con una longitud cada uno de 2,5  $\mu$  y 30 nm de grosor (Pajares y Gisbert, 2006).

El daño que causa la *Helicobacter pylori* en el epitelio gástrico, se basa primordialmente en la actividad enzimática. Produce ureasa, esta enzima hidroliza la urea en amoníaco y  $\text{CO}_2$ , esto proporciona un pH cercano a la neutralidad y protege a la bacteria del ambiente ácido del estómago, por lo que este mecanismo es su principal defensa y le permite sobrevivir en ese ambiente hostil (Tsuda, 1994). Al producir altas concentraciones de amoníaco, se altera la síntesis del mucus gástrico. Las fosfolipasas hidrolizan las membranas celulares y liberan lisolecitinas, éstas constituyen un factor ulcerogénico. A su vez, los tetrapéptidos, al activarse liberan citosinas las cuales hacen posible el desarrollo de una respuesta inflamatoria. Esto provoca una lesión severa de la mucosa gástrica como consecuencia de la liberación de mediadores inflamatorios tales como metabolitos del ácido araquidónico, radicales libres de oxígeno y factores activadores de plaquetas. Lo anterior junto con la bacteria induce la expresión de otros receptores para la liberación de

interleucina I, factores de crecimiento celular y radicales libres oxidantes (Rautelin *et al.*, 1996; Cover y Blaser, 1996).

Evidencias epidemiológicas y microbiológicas han demostrado la presencia de *Helicobacter pylori* en agua, lo que puede significar el uso de este fluido como reservorio natural. Su detección en agua ha sido motivo de controversia, debido a que no existe una técnica estándar para su estudio. Por otra parte, se ha demostrado que la *Helicobacter pylori* forma agregados que se adhieren a superficies abióticas expuestas al agua. Las superficies de cobre fueron especialmente favorables para la permanencia de la bacteria en su forma espiral, así como para la formación de aglomerados. En Venezuela, se encontró que la frecuencia de infección por *H. pylori* es significativamente más alta (96%) durante los meses de lluvia, sugiriendo que esto podría ser debido a un aumento en la densidad bacteriana y/o cambios de formas cocoides en estado de latencia a bacilares en división celular. Los resultados de estos estudios indican que el agua puede ser un intermediario en la transmisión fecal-oral actuando como un reservorio en el cual la bacteria puede permanecer por periodos prolongados antes de ser ingerida como agua potable, accidentalmente durante el baño, o a través de alimentos contaminados (Fernández *et al.*, 2008).

Aunque existen muchos factores que pueden propiciar la aparición de cáncer gástrico, incluyendo el ambiente, factores socioeconómicos e incluso el perfil genético de una población específica, *Helicobacter pylori* es la causa más reconocida como responsable de este tipo de tumores malignos y se cree responsable de aproximadamente 900 000 casos de cáncer por año así como la principal causa de fallecimiento por cáncer que cualquier otro agente infeccioso. La erradicación de *H. pylori* exige el uso de al menos dos antibióticos y un bloqueador de la bomba de protones.

La gastritis como consecuencia de infección por esta bacteria es susceptible de transformarse con el tiempo en cáncer gástrico. Existe evidencia de la prevalencia de esta bacteria en regiones de Sonora que presentan características específicas y que permiten su desarrollo. Los estudios realizados en la región para la determinación de un tratamiento efectivo requirieron que todos los participantes presentaran infección por *Helicobacter pylori* y que dicha condición se manifestara en problemas gástricos. Lo anterior no sólo es un indicador de la situación sanitaria de nuestra región, también permite la especulación de

lo que puede llegar a representar el no tomar las medidas de prevención y/o correcciones necesarias.

### **Metodología**

La localidad de Tetabiate está situada en el municipio de San Ignacio Río Muerto, Sonora, en la Latitud 27°26'48.37"N, Longitud 110°19'26.17"O (Figura 1), y tiene aproximadamente 492 habitantes (INEGI, 2010). Los indicadores de 2005 muestran un grado de marginación alto, de rezago social y vivienda medio y para el año 2010 existía un total de 126 casas habitadas. Las condiciones socioeconómicas hacen que esta población sea ideal para llevar a cabo el estudio de prevalencia de *Helicobacter pylori* (INEGI, 2011).

Se realizaron visitas periódicas a la comunidad de Tetabiate con la finalidad de estimular la participación de los habitantes. En dichas visitas se describieron los puntos más importantes del proyecto. Se aclararon las dudas a los habitantes de la comunidad, se les informó acerca de los requisitos que debían cumplir para formar parte del proyecto, así como sobre los derechos, beneficios y riesgos del mismo.

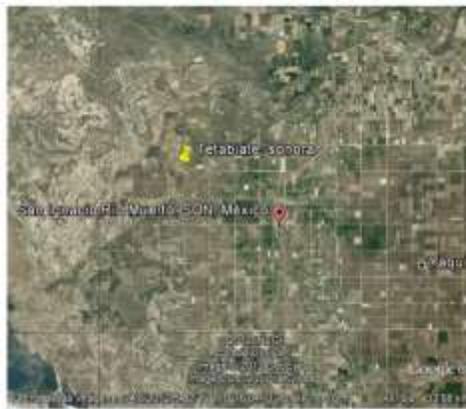


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Se emprendió un estudio socioeconómico con la finalidad de identificar factores que pudieran estar relacionados con la prevalencia de *H. pylori*, incluyendo un cuestionario con una serie de síntomas asociados con esta infección con la intención de obtener la relación síntomas-prevalencia. Aquellos participantes seleccionados para el estudio, se les restringió el uso de antibióticos o inhibidores de la bomba de protones 15 días previos a la prueba del aliento con urea. Así mismo, se le pidió evitar el consumo de bebidas carbonatadas, como agua mineral que contuvieran gas (CO<sub>2</sub>), cuatro horas previas a iniciar la prueba. Una vez

aprobado el proyecto se pidió a los padres de familia y a los participantes del estudio que leyeran y firmaran las formas de consentimiento informado, proporcionándoles una copia el documento firmado, mismo que fue resguardado por la Institución. Antes de proceder a la recolección de la muestra, los niños y jóvenes que recibieron permiso y decidieron participar en el estudio fueron pesados y medidos.

Por medio de la prueba de aire espirado (prueba del aliento) con ureasa, se recolectaron muestras de aliento de 92 niños entre las edades de 5 y 15 años residentes de la comunidad de Tetabiate, Sonora. La toma de muestra se realizó en ayuno al menos 6 horas antes de su medición. La primera muestra se tomó al espirar el aire retenido por un intervalo de 10 segundos, en seguida se procedió a la ingesta de una solución de urea, contenido en una cápsula con 50 mg de urea marcada en carbono 13, utilizada como indicador y que se disolvió en un volumen aproximado de 200 mL de agua. Al cabo de 30 minutos se tomó una segunda muestra.

Ambas muestras se analizaron en el Laboratorio de Toxicología del CIIBBA-ITSON utilizando un equipo de espectrometría de masas infrarrojo (IRIS Doc, Wagner Analysen Technik Bremen). Por diferencia entre carbono 13 y 12 fue posible reconocer a aquellos individuos que presentaron infección por *Helicobacter pylori*, considerándose positivos aquellos pacientes que presentaron una delta mayor o igual a 2.5 y como negativos los que se encontraban por debajo de este valor (Barrado, *et al.*, 2004).

### **Resultados y discusión**

La prevalencia de *H. pylori* obtenida en la comunidad Yaqui de Tetabiate, Sonora, en niños y adolescentes examinados fue de 38.05%. Este valor fue muy cercano al esperado, y probablemente pudiera cambiar al ampliar el rango de edad hacia niños menores de cinco años. Los resultados coinciden con los obtenidos por Greenberg *et al.*, (2011) en la población de Pótam, Sonora donde sus habitantes mostraron valores mayores de prevalencia en un estudio multicéntrico. Sin embargo, esto implicaría adaptar la técnica de muestreo a niños de menor edad.

La muestra final se conformó por un total de 92 participantes, de los cuales 39.13% correspondían al género masculino y el 60.87% restante al femenino. Se esperaba

asociación entre género y prevalencia. Sin embargo, de la prueba de  $X^2$  no se obtuvieron valores significativos que mostraran dicha asociación (Figura 2).

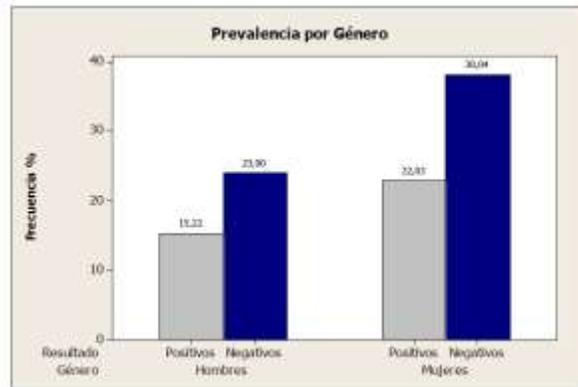


Figura 2. Prevalencia de *H. pylori* por género.

La mayor prevalencia de infección se presentó en el rango de edad de cinco a seis años, manteniéndose estable en los grupos posteriores y disminuyendo conforme se acercaba a los grupos de adolescentes. Esta disminución, sin embargo, no está asociada con la prevalencia, ya que el estudio estadístico de Chi-cuadrada ( $X^2$ ) no reveló un valor de  $p$  que fuera significativo al 95% de confianza (Figura 3).

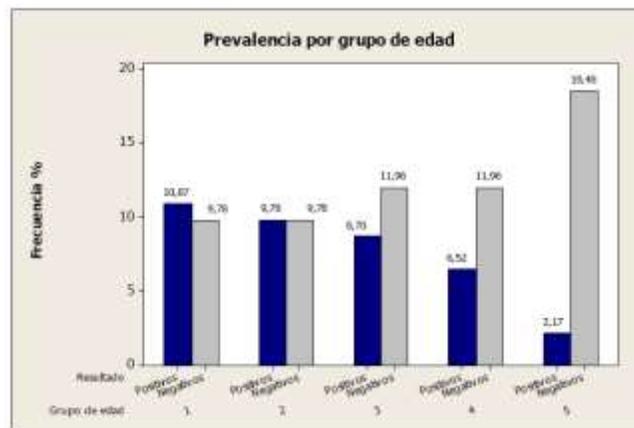


Figura 3. Grupo de prevalencia de *H. pylori* con respecto a la edad.

Todos los participantes fueron cuestionados acerca de su situación socioeconómica con la finalidad de obtener variables que pudieran asociarse con la prevalencia. Con el estudio socioeconómico se buscó asociar la prevalencia a alguna de las condiciones de vida,

ya que es sabido que los grupos más vulnerables a este microorganismo son aquellos de nivel socioeconómico bajo en contraste con las poblaciones de países industrializados. No fue posible identificar qué condiciones ambientales, alimenticias, de higiene, o bien los factores o condiciones a la que pueda atribuirse esta diferencia tan marcada. No se encontró relación estadística entre prevalencia de *H. pylori* y el agua de consumo, ni entre prevalencia y ausencia de la madre en el hogar. Estudios similares como el de Malaty *et al.*, en 2011, determinó la prevalencia en niños coreanos de diferentes clases económicas y reveló que la bacteria estaba presente en un 75% de la población infantil estudiada y que era independiente al estatus económico, siendo una incidencia de 12% en niños de clases altas, 25% en clases medias y 41% en clases pobres; así mismo no se encontraron relaciones entre la prevalencia y factores como sexo, consumo de alcohol y cigarro.

El tema del agua de consumo como reservorio natural de la bacteria *H. pylori* ha sido hasta la fecha motivo de controversia por parte de los investigadores ya que no ha sido posible establecer una relación entre la procedencia de este consumo con la prevalencia. En el estudio estadístico realizado no se encontró asociación entre la posible presencia de la bacteria en agua y la prevalencia (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentajes de prevalencia y valor de p, para el análisis de X<sup>2</sup> en los participantes infectados por *H. pylori*.

Características	n (92)	Prevalencia %	p-valor
<b>Sexo</b>			
Masculino	36	15,22	0,893
Femenino	56	22,83	
<b>Edad</b>			
5-6 años	19	18,87	X <sup>2</sup> = 9,098 0,059
7-8 años	18	9,78	
9-10 años	19	8,7	
11-12 años	17	6,52	
13-15 años	19	2,17	
<b>Índice de Masa Corporal (IMC)</b>			
Peso ideal	65	70,65	0,76
Inferior al normal	3	3,26	
Riesgo de sobrepeso	14	15,22	
Sobrepeso	10	10,87	
<b>Procedencia del agua de consumo</b>			
Garrafón	67	28,26	0,805
Llave o pozo	25	9,78	
<b>Sustento económico</b>			
Padre	61		0,110
Madre	18		
Ambos	11		
Otros	2		

El síntoma que se presentó mayor frecuencia fue el dolor abdominal recurrente en un total de 51 niños, seguidos por aquellos que presentaban náuseas y acidez con un total de 45 y 42 casos, respectivamente. De un total de 35 niños infectados, solo siete resultaron ser asintomáticos. El número de pacientes que presentó síntomas relacionados con la infección resultó ser mayor que el número de casos positivos para esta bacteria. Esto indica, que existen problemas gastrointestinales en niños y adolescentes que no están relacionados con la presencia de este microorganismo.

En la Figura 4 se muestran los resultados de la prevalencia por familia, manejando en porcentaje el total de integrantes infectados y demostrando que es posible encontrar pacientes positivos y negativos en una misma familia.

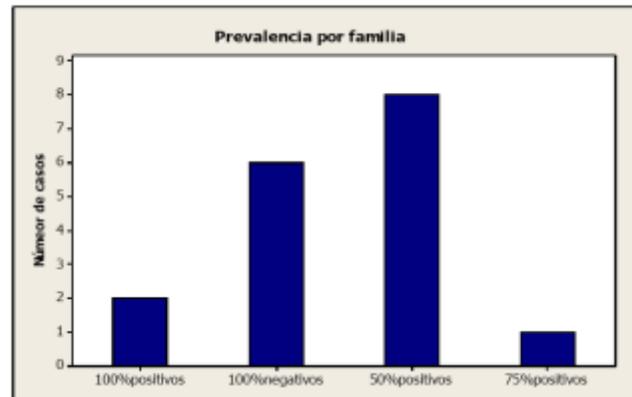


Figura 4. Prevalencia de *H. pylori* por familia.

### Conclusiones

En el estudio de prevalencia se obtuvo un porcentaje de pacientes positivos de 38.05%, en un rango de edades de 5 a 15 años. Los resultados muestran una clara tendencia de incremento conforme la edad disminuye. Así mismo, esto sugiere que a mayor edad la posibilidad de contraer la infección es menor. Esta peculiaridad puede deberse al hecho de que los hábitos de higiene tienden a arraigarse con la edad. El género tampoco constituye un factor asociable a la prevalencia. Un número importante de los niños y jóvenes participantes presentaron síntomas de infección; sin embargo, el resultado de las pruebas fue negativo. En lo que se refiere al nivel socioeconómico, no se pudo identificar un factor que sea decisivo para la proliferación de esta bacteria. La prevalencia de *H. pylori* por

familia es variable. Este estudio ha demostrado que pueden presentarse diferentes niveles de prevalencia por familia.

### **Referencias**

- Agudo, P. (2010). Estudio molecular de los factores de Virulencia y de la resistencia a Claritromicina en la infección por *Helicobacter pylori*. Tesis doctoral. Universidad complutense de Madrid. Facultad de medicina. Departamento de microbiología. 125 pp.
- Amieva, R. M., (2008). Host-Bacterial Interactions in *Helicobacter pylori* Infection. *Gastroenterology*. Vol. 134. pp. 306–323.
- Atherton, J.C. (2007). The inflammatory and immune response to *Helicobacter pylori* infection. Elsevier. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. Vol. 21, No. 2. pp. 237–259.
- Cover, T.L, Blaser, M.J. (1996). *Helicobacter pylori* infection. *Advances internal medicine*. St Luois, Mosby. Vol. 4. pp. 85-177
- Dore, M.P., Malaty, H. M., Graham, D. Y. (2011). Risk Factors Associated with *Helicobacter pylori* Infection among Children in a Defined Geographic Area. Vol. 35. pp. 240–245.
- Fernández, M., Contreras, M., García, A. (2008). Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. *Interciencia*. Vol. 33, No. 6.
- González, M., Rojas, F., Grá, O.S, Ávalos, R. (2004). Prevalencia de la infección por *Helicobacter pylori* en pacientes dispépticos. *Revista panamericana de infectología*. Vol. 6, No.4. pp. 8-14.
- Greenberg E. R., Anderson, L., Morgan, M., Torres, J., Chey, D., Bravo, L, Domingues, L., Ferreccio, C., Herrera, R., Lazcano-Ponce, E., Meza-Montenegro, M., Peña, R., Peña, E., Salazar-Martínez, E., Correa, P., Martínez, M., Valdivieso, M., Goodman, G., Crowley, J., Baker, L. (2011). 14-day triple, 5-day concomitant, and 10- day sequential therapies for *Helicobacter pylori* infection in seven Latin American sites: a randomized trial. *Lancet*. Vol. 378. pp. 507-514.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Catálogo General de Localidades, Diciembre 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Catálogo General de Localidades, Diciembre 2011.

- Malaty, M., KimJong, G., KimSoon, D., Graham, Y. (2011). Prevalence of *Helicobacter pylori* infection in Korean children: inverse relation to socioeconomic status despite a uniformly high prevalence in adults. *American Journal of Epidemiology*. Vol. 143, No. 03. pp. 257-262.
- Pajares, J. M., Gisbert, J. P. (2006). *Helicobacter pylori*: su descubrimiento e importancia en la medicina. *Rev. Esp. Enferm. Dig.* Vol. 98, No.10. pp. 770-785.
- Ramírez, R.N., Quintanilla, D. P., (2006). Infección por *Helicobacter pylori* en niños. *RevSoc Bol Ped.*Vol. 45, No. 2. pp. 102 -107.
- Rautelin, H., Sipponen, P., Seppala, K., Sarna, S., Danielsson, D., Kosunen, T. (1996). Gastric inflammation and neutrophil-activating and cytotoxin-producing *Helicobacter pylori* strains. *Scand J Gastroenterol*. Vol. 92. pp. 639-642.
- Tsuda, M. (1994). Essential role of *Helicobacter pylori* urease in gastric colonization: definite proof using a urease-negative mutant constructed by gene replacement. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol*. Vol. 6. pp. 49-52.

## Capítulo VII. Evaluación de indicadores de salud en perros domésticos obesos con predisposición a Síndrome Metabólico

Juan Francisco Hernández Chávez<sup>1</sup>, Nora Alejandrina López Salinas<sup>1</sup>, Javier Arturo Munguía Xóchihua<sup>1</sup>, María Guadalupe Leyva García<sup>1</sup> y Lourdes Mariana Díaz Tenorio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias,

<sup>2</sup>Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias

Instituto Tecnológico de Sonora

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

### Resumen

El Síndrome Metabólico no es exclusivo en humanos, también se encuentra en animales, como en el perro. Se presenta como una serie de alteraciones metabólicas, conocidas como la enfermedad del cuarteto, que incluye la presentación de hipertensión, resistencia a insulina, intolerancia a la glucosa e hiperlipidemia en el paciente. Presentando dos tres de estas alteraciones, ya se considera que padece síndrome metabólico. En la presente investigación se analizó a un grupo de 20 perros domésticos obesos con propietario, antes y después de haber ingerido alimentos. Se midió la condición corporal mediante la escala del 1 al 5; donde 3 es el estado ideal y 5 es la obesidad mórbida (JAAHA, 2010). Se determinó la química sanguínea: Glucosa, Colesterol total y Triglicéridos. No se encontró una relación significativa entre su estado de obesidad y sus niveles de glucosa, colesterol total y triglicéridos. Los valores de referencia fueron tomados de Barriga y Funtúrbel (2011). Los resultados obtenidos en el estudio antes de ingerir alimentos fueron  $76.36 \pm 7.23$  mg/dl de glucosa,  $180.73 \pm 85.76$  mg/dl Colesterol y  $69.81 \pm 29.01$  mg/dl Triglicéridos. Después de comer los resultados fueron  $73.09 \pm 26.67$  mg/dl de Glucosa,  $188.91 \pm 97.92$  mg/dl Colesterol y  $230 \pm 237.14$  mg/dl de Triglicéridos. Estos resultados muestran que los perros estudiados en cuanto a niveles de Glucosa y Colesterol total en sangre, están dentro de los niveles normales, sin embargo el nivel de Triglicéridos están encima de los normales. Estos sugieren que el síndrome metabólico en los perros muestreados debe de ser considerado como un parámetro arriba de lo normal. Se recomienda mayor número de muestra y un indicador más específico para la determinación del síndrome metabólicos en perros obesos.

*Palabras clave:* Síndrome Metabólico, perros obesos, indicadores salud.

### Introducción

El síndrome metabólico es una serie de factores de riesgo en humanos; tales como como el desarrollo de diabetes tipo 2, arterioesclerosis, enfermedades coronarias y derrames. Esto es de gran interés debido a que un alto porcentaje de la población mundial lo padece o está en vías de padecerlo. El término ha sido recientemente aplicado a perros que exhiben algunos de los componentes antes mencionados; así como la obesidad visceral, hipercolesteremia e hipertensión. Los perros obesos son conocidos por desarrollar

resistencia a los efectos de la insulina, y por un notable incremento en la concentración de triglicéridos, colesterol y presión sanguínea. Sin embargo, a diferencia de los humanos, los perros no parecen desarrollar hiperglicemia por ayuno o hiperlipidemia arterogénica (Verkest, 2013). Otro de los aspectos a considerar en el síndrome metabólico, es la condición corporal. Esto debido a gran medida a los hábitos alimenticios que tienen los dueños y que por esos mismos hábitos, generan obesidad en las mascotas, que cada día al igual que el ser humano están con sobrepeso y con un latente riesgo de desarrollar más patologías metabólicas causando repercusiones emocionales y económicas para la mascota y el propietario. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue la determinación de indicadores de salud en perros domésticos obesos para determinar la incidencia de síndrome metabólico.

En la actualidad la obesidad en humanos se encuentra en aumento, esto debido a la falta de actividad física y malos hábitos alimenticios que se vuelven parte de una rutina en favor de cumplir las demandas de un acelerado estilo de vida. Los perros actúan como espejo del dueño, adaptándose a sus hábitos y costumbres, convirtiendo la obesidad canina (y sus problemas) en un padecimiento creciente y preocupante. La cantidad de caninos con problemas ligados a la obesidad es cada vez mayor y su frecuencia solo irá en aumento en los siguientes años; por ello es importante preguntarnos: ¿los perros domésticos obesos tienen una predisposición a padecer síndrome metabólico?

### ***Fundamentación teórica***

La obesidad es una entidad multifactorial, pluripatológica y de gran prevalencia tanto en países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo, lo cuales por genética ancestral tendente al ahorro energético por la penuria económica y escasez de alimentos, tienen mayor predisposición a desarrollarla. Desde el punto de vista fisiopatológica la obesidad es un estado físico de excesiva grasa corporal (Sebán, 2012). La obesidad es definida como una acumulación excesiva de tejido adiposo en el cuerpo, y es la enfermedad nutricional más común en varios países. Ha habido gran variedad de estudios que demuestran en sus informes que existe obesidad en diversas partes del mundo con una incidencia del 22% al 44% dependiendo de la ubicación. Sin embargo en los últimos 10 años, la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que al menos el 33% de los

perros que llegan a las clínicas veterinarias presentan obesidad y que la incidencia va aumentando a medida que aumenta la población obesa en la humanidad (Zoran, 2010).

El factor predisponente a la obesidad en los perros es el balance energético, que en periodos prolongados está determinado por la ingesta de energía, su gasto, la distribución de los nutrientes y la apogenia. Se produce un balance energético positivo cuando la ingesta de energía es mayor al gasto, originándose un aumento de los depósitos de grasa en el cuerpo. Es negativo, en cambio, cuando la ingesta es menor que el gasto, promoviendo una disminución de los depósitos de energía. Solo cuando es positivo y prevalece por un periodo de tiempo considerable es probable desarrollar obesidad (Bunchwald, 2009). Las causas de la obesidad son multifactoriales y muchos son genéticos y ambientales; sin embargo la obesidad se presenta cuando el consumo de calorías es demasiado y/o a una nula o escasa actividad física. Sin embargo esto aumenta la evidencia de que los factores externos juegan un rol importante en la obesidad. Uno de estos factores viene siendo la predisposición por raza (como un factor genético, pero esto no está probado), y estos son claramente otros componentes, como la edad, sexo, estatus gonadal e influencia hormonal, estos juegan un rol importante en el desarrollo de la obesidad (Zoran, 2010). De manera particular, la leptina controla los depósitos de grasa corporal y el balance energético. Es una hormona proteica, sintetizada y secretada por el tejido adiposo como respuesta al balance energético (Cerón, 2008). El sobrepeso y la obesidad afectan a cerca de 25% de los perros, su presentación puede variar entre el 20 y 45% de la población canina que visita los centros y clínicas veterinarias de varios países occidentales y de Australia y, por lo tanto, se le considera una enfermedad nutricional común en los animales de compañía (Domínguez, 2011).

El síndrome metabólico es una padecimiento que se está volviendo bastante común en la actualidad, lo padece cada vez más gente y eso no deja fuera a los animales que tienen estrecha relación con el hombre como lo son las mascotas que llegan a ser parte “como de la familia” y por lo tanto se les incentiva o consiente con golosinas, exceso de alimento, desechos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y lípidos, ocasionando así un sobrepeso por parte del animal, viendo comprometido no solo al tejido adiposo en constante aumento y a la distorsión de la anatomía del animal por causa de la obesidad. Diversos estudios, mencionan que la obesidad o sobrepeso ocasiona otra serie de problemas

secundarios, como dificultad de movimiento por el gran peso que tienen se soportar las articulaciones, provocando un sedentarismo y éste a su vez por falta de actividad física provoca más sobrepeso, por mencionar un ejemplo. Los sistemas inmune y metabólico son por lo tanto requerimientos básicos en el reino animal. Las vías metabólicas e inmunes son por tanto cercanas e interdependientes. Muchas hormonas, citocinas, proteínas señalizadoras, factores de transcripción y lípidos bioactivos pueden funcionar en ambos roles, metabólico e inmune (Miranda y Albarran, 2008). En las sociedades industrializadas, se ha observado un incremento proporcional en la incidencia de trastornos metabólicos asociados a la presencia de esta enfermedad, como la intolerancia a la glucosa, la resistencia a la insulina, la hiperlipidemia y la hipertensión, todos ellos factores de riesgo de la aterosclerosis. Los estudios realizados de los últimos años han puesto de manifiesto que la prevalencia conjunta de estos factores de riesgo cardiovascular no es casual y que su desarrollo simultáneo se asocia con un mayor riesgo aterosclerótico que su presencia por separado. Al conjunto de estos trastornos, inicialmente denominado “síndrome X” o también llamado “síndrome de Raeven”, se le denomina actualmente “síndrome metabólico” y se define como la presencia conjunta de varias anomalías metabólicas, como la obesidad abdominal, la dislipidemia (aumento de los valores de triglicéridos y reducción del colesterol unido a lipoproteínas de alta densidad), la intolerancia a la glucosa y la hipertensión arterial (Vázquez, 2007). Un perro padece síndrome metabólico cuando presenta tres o más de los siguientes criterios: Obesidad; Condición corporal  $>4$  (escala de 1-5), Hipertrigliceridemia; Triglicéridos en ayunas  $>1.7$  mmol/L; Bajos niveles de colesterol-HDL:HDL-chol en ayunas  $<1.0$  mmol/L (machos) y  $<1.3$  mmol/L (hembras); Hiperglucemia: Glucosa en ayunas  $>6.1$  mmol/L e Hipertensión: Presión arterial  $>150/95$  mm/Hg (Peña, 2008).

### **Metodología**

La presente investigación fue realizada en el Laboratorio de Autenticidad y Calidad de Alimentos de Origen Animal del Departamento de Agronomía y Ciencias Veterinarias del Instituto Tecnológico de Sonora. El trabajo se desarrolló en el periodo comprendido de Invierno-Primavera del 07 de Enero al 30 Mayo de 2013. Las muestras sanguíneas fueron obtenidas de 20 perros domésticos obesos (*Canis lupus familiaris*) con propietarios. Este

número se tomó con base a la metodología reportada por Barriga y Funtúrbel (2011), que fueron solicitados con el consentimiento de los propietarios, para la extracción de la sangre en tubos Vacutainer® con EDTA y SST. Los perros incluidos en el estudio pasaron por una exploración clínica completa y los resultados de la misma no sugerían la posible existencia de patología subyacente alguna. Perros de 1 año de edad en adelante participaron en este estudio, sin hacer diferencia entre machos y hembras, castrados o no. Los perros participantes tuvieron una valoración de su condición corporal, bajo el criterio de 1 a 5: considerando la escala 1 a animales caquéxicos y 5 animales obesos (JAAHA, 2010). Para el diagnóstico de síndrome metabólico en perros se basó en los criterios más aceptados mundialmente para el hombre, del Thirt Report of the National Cholesterol Education Program (adult treatment Panel III) (NCEP: ATP-III, 2002). Modificando el criterio de obesidad abdominal humana, por el de condición corporal  $>3$ , en perros (JAAHA, 2010). Se les tomó muestra de la cefálica o de la yugular según sea el caso para obtener 3 ml a 5 ml de sangre, que se almacenará en tubo con anticoagulante etilendiaminotetracetato (EDTA) y tubo gel sin anticoagulante (SST). Las muestras fueron extraídas en ayunas y dos horas después de que ingirieron alimentos los perros (González, 2011). El pulso se tomó de la arteria femoral (miembro posterior) a la altura media del fémur antes y después de extraerles la muestra sanguínea (Manual de Patología Veterinaria, 2013).

Las muestras fueron analizadas para la determinación de la concentración de glucosa, colesterol total y triglicéridos. Estos analitos fueron determinados del suero extraído de las muestras de sangre de los perros obesos. Éstos fueron centrifugados en tubos SST (BD Vacutainer's) para posteriormente ser inyectados en el equipo Synchron CX9 (Beckman Coulter). Los estándares que se utilizaron fueron con concentraciones conocidas para asegurar la reproducibilidad y repetitividad, ajustando las curvas de calibración para obtener una  $R^2 > 0.9$ . Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio Clínico del Hospital de Especialidades Médicas del Seguro Social de Ciudad Obregón, Sonora. Se midió la condición corporal de los perros, concentración de triglicéridos, colesterol y glucosa. Estudio multicéntrico observacional descriptivo llevado a cabo sobre un muestreo por conveniencia de un grupo de perros. Se utilizó estadísticas descriptivas para la interpretación de la incidencia de síndrome metabólico en los perros obesos muestreados. Para esto se utilizó el programa EXCEL (Windows, 2010).

### **Resultados y discusión**

La selección de los perros muestreados para este estudio, se basó en las características corporales que corresponden a una condición corporal por encima de la ideal, es decir; con sobrepeso. Para la determinación de las características corporales de los 20 perros seleccionados, se consideró las referencias de los estándares de JAAHA (2010), donde se menciona que el índice de condición corporal (ICC) evalúa la grasa corporal en escalas de 5, 6, 7 ó 9. La meta de la mayoría de las mascotas es un ICC de 2.5-3 de 5, ó 4-5 de 9 (Esto puede parecer demasiado delgado para algunos dueños de mascotas, de modo que la educación del cliente es importante). Las asociaciones con el riesgo de enfermedades para mayores ICC en animales adultos parece que aumentan por encima de 3.5 de 5 (6 de 9). El total de los 20 perros estuvieron en la condición corporal 4, que según JAAHA (2010), las características que presenta los perros con condición 4, muestran costillas palpables con dificultad; pesada cubierta de grasa. Depósitos de grasa observables sobre el área lumbar y la base de la cola y cintura ausente o apenas visible. Puede presentar pliegue abdominal. La raza es un factor predisponente para la presencia de obesidad en perros. Según Zoran (2009), las más predisuestas a padecer obesidad son: Labrador retriever, Bóxer, Terrier escocés, Cairn terrier, Cocker spaniel, Pastor Shedland, Basset hound, Cavalier King Charles Spaniel, Beagle y otras cruza de perros de raza grande. Los perros de la raza Galgo son los animales que presentan resistencia a padecer obesidad. Las razas que se seleccionaron para las muestras fueron tres labradores, dos Snauzer, un Dash hound, un Pastor alemán y el resto fueron criollos (raza indefinida). Lo que concuerda por lo descrito por Zoran (2009). En cuanto a la proporción por sexo y edades, los animales analizados fueron 15 hembras y cinco machos sin castrar entre la edad promedio de 6.2 años de edad al momento del muestreo. El pico de prevalencia del sobrepeso y la obesidad se encuentra en pacientes que están entre 5 y 10 años de edad, que afecta a cerca del 50% de los perros y gatos de esta edad. Diversas investigaciones hechas en América, Europa y Australia, han determinado una prevalencia que varía entre un 9 y un 44%. Es decir, esta enfermedad puede estar presente casi en la mitad de la población canina o felina de varios países. Algunos autores aseveran que los países industrializados son los que presentan mayor incidencia, sin ser un problema que afecte en gran medida a los países del tercer mundo. En Francia, un estudio realizado en 2006, se encontró una prevalencia de obesidad

en perros de 38.8%; además, encontraron que el 56.5% de la población censada tenía una condición corporal ideal (González-Domínguez y Bernal, 2011).

En la determinación de la química sanguínea de los 20 perros obesos, se determinó glucosa, colesterol total y triglicéridos, en el periodo de 6 horas de ayuno antes de la extracción de sangre y dos horas después de ser alimentados con su alimento habitual. Los resultados de las variables analizadas para los perros muestreados en ayunas y después de 2 horas de comer, se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de glucosa, colesterol total y triglicéridos de los perros, antes de comer.

Niveles Química Sanguínea (mg/dl)			
Periodo	Glucosa	Colesterol Total	Triglicéridos
Ayunas	76.36±7.23	180.73 ±85.76	69.81±29.01
Después de comer (2 horas)	73.09±26.67	188.91±97.92	186.00±119.27

Los valores observados para glucosa, en los perros muestreados en ayunas, fueron de 76.36±7.23 mg/dl. Estos datos, según el Manual de Patología (2010) están dentro de los niveles normales para perros adultos. Mismos resultados que mencionan Barriga y Funtúrbel (2011) en un estudio similar al nuestro donde encontraron en 80 perros valores de 77±4 mg/dl. Con relación a los valores de colesterol total, los resultados obtenidos (180.73±85.76) en este estudio muestran valores similares a los reportados por Barriga y Funtúrbel (2011), con 178±9 de colesterol total. La diferencia evidente es que en este estudio, la desviación estándar fue mayor, esto debido al reducido número de muestras, pero los valores están dentro del rango normal para perros adultos. En cuanto a los valores de triglicéridos para los perros analizados fueron de 69.81±29.01 mg/dl. Estos valores están dentro del rango normal para perros adultos (Manual de Patología, 2010). Sin embargo en los resultados reportados en condiciones similares por Barriga y Funtúrbel (2011), muestran una fuerte diferencia entre los valores encontrados es este estudio con 178±9 mg/dl. Tal vez esto debido a la dieta de los animales muestreados, ya que las croquetas son alimentos balanceados, y en ese estudio, no contralaban la dieta de los animales muestreados ya que comían croquetas y restos de comida casera, siendo resultados similares a los reportados por González-Domínguez y Bernal (2011). Después de los análisis a los perros en ayunas,

se procedió a darles de comer alimentos en croquetas y después de dos horas de haber sido alimentados, se les extrajo 5 ml de sangre, para ver el comportamiento de la concentración de glucosa, colesterol y triglicéridos. En el cuadro 1, se observó los valores disminuidos la concentración de glucosa con respecto a la presentada en ayunas con un  $73.09 \pm 26.67$  mg/dl. Este resultado no es el esperado ya que con la ingesta de alimentos esperaría un aumento en estas concentraciones. Los valores para colesterol total y triglicéridos ( $188.91 \pm 97.92$  y  $186.00 \pm 119.27$  mg/dl, respectivamente), mostraron un comportamiento normal, ya que al ingerir alimentos, el aumento de estos analitos fue evidente. Valores que se encuentran dentro de los rangos normales para perros adultos (Manual de Patología, 2010; Barriga y Funtúrbel, 2011). Tvarijonaviciute *et al.* (2008), mencionan que la producción de la hormona leptina, que es una proteína, sintetizada y secretada por el tejido adiposo como respuesta al balance energético positivo, regula el apetito de los animales, actuando como estímulo aferente inhibitorio del centro de la saciedad y afecta a los circuitos centrales del hipotálamo, bajando la ingesta de alimento y aumentando el gasto de energía. Al alimentar a los perros muestreados, y posteriormente extraerles sangre dos horas después, puede ser influenciada la condición corporal del paciente para activar la leptina e inhibir el apetito ya que la regulación de la secreción de leptina es a largo plazo, principalmente por variación del nivel de masa corporal y efectos estimulantes de la insulina.

En la Figura 1 se observa el comportamiento de los valores de glucosa que están dentro de los valores establecidos por diverso autores (Takeguchi, 2005; Manual de Patología, 2010; Barriga y Funtúrbel, 2011; Verkest, 2012). Los valores de la concentración de glucosa en ayunas se mantuvieron en promedio de  $76.36 \pm 7.23$  mg/dl teniendo una tendencia normal; sin embargo, los valores observados después de ser alimentados los pacientes, el comportamiento no fue el esperado, ya que mostraron una tendencia errática al aumento de valores. Siendo tres perros lo que se desfasaron de las tendencias. Esto probablemente sea derivado de un mal funcionamiento del equipo o un inadecuado manejo del suero al momento de inyectar la muestra.

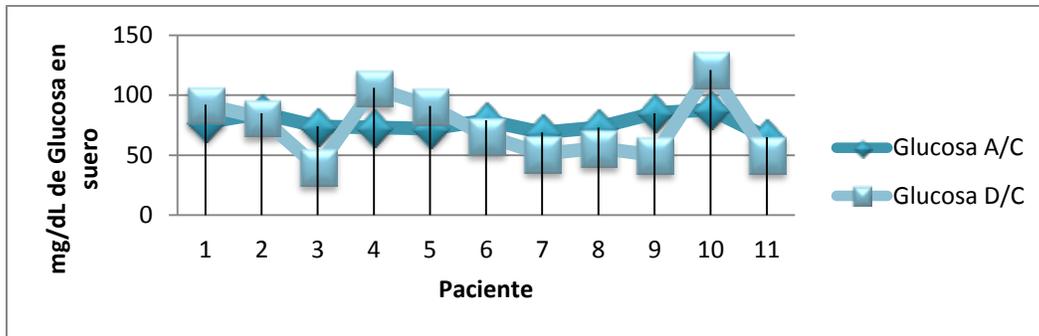


Figura 1. Gráfica de diferenciación de niveles en suero de glucosa en ayuno y después de comer.

En cuanto los valores encontrados para colesterol total antes y después de alimentar a los perros obesos (Figura 2), fueron muy similares ( $180.73 \pm 85.76$  y  $188.91 \pm 97.92$  mg/dL, respectivamente). El colesterol se divide en dos grupos: Lipoproteína de baja densidad y Lipoproteína de alta densidad (colesterol malo y bueno, respectivamente), pero para estos análisis solo se consideró la concentración de colesterol total, que al tratarse de perros con una condición corporal mayor a 4, los valores estaban dentro de los rangos normales según varios autores; ya que Barriga y Funtúrbel (2011), mencionan valores de 115.6 a 250 mg/dL. Por otro lado, los valores en rango normal que maneja el Manual de Patología (2010), es de 150 a 400 mg/d, siendo un paciente el que se salió de los valores normales al presentar antes y después de ser alimentados 405 y 425 mg/dL (respectivamente). Valores similares reportan en perros obesos, pero con diferente metodología de análisis Takeguchi, (2005), Xenoulis y Steiner (2005) y Cabrera *et al.* (2012).

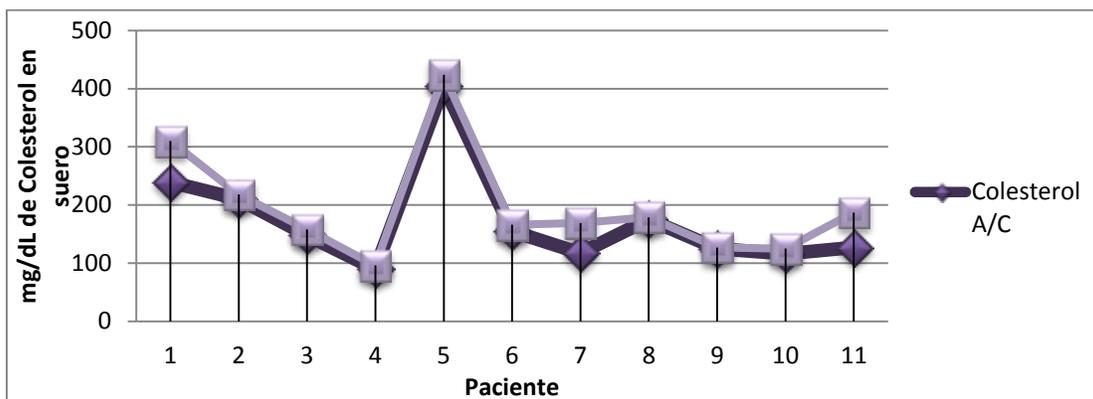


Figura 2. Gráfica diferencial de valores del colesterol total en suero en ayuno y después de comer.

En este estudio no se pudo obtener la determinación del colesterol LDL y HDL (Colesterol malo y bueno), que hubiera sido un indicador más preciso de la presencia del síndrome metabólico en los perros analizados ya que, según Barriga y Funtúrbel (2011), niveles de colesterol LDL (malo) de 20-36 mg/dL en perros con obesidad marcada (condición corporal mayor a 4), indica que son caninos con hiperlipidemia, por lo tanto están presentando un desequilibrio en el metabolismo de los lípidos. González-Domínguez y Bernal (2010), mencionan que la patogenia exacta de la obesidad y el sobrepeso se desconocen; las investigaciones sugieren que se trata de un desbalance entre la ingestión y el gasto de energía, equilibrio controlado por factores neurológicos, fisiológicos, metabólicos y hormonales. Es así como, el organismo requiere de la energía para realizar todas sus funciones; esta energía se denomina energía metabólica basal que depende de la masa corporal libre de grasa, la edad, el sexo, las hormonas tiroideas, y la genética, específicamente, la raza del animal. El exceso de energía no necesaria para todas estas funciones se acumula en el tejido adiposo en forma de ácidos grasos, que a su vez constituyen la forma más efectiva de almacenar o conservar la energía sobrante, ya que de esta forma se almacena 2,25 veces más energía por unidad de masa que las proteínas o los carbohidratos. Los resultados para las concentraciones de triglicéridos se observan en la gráfica 3, donde se muestran los valores más alterados que glucosa y colesterol. Además se observan una mayor cantidad de muestras que sobrepasaron el nivel máximo de triglicéridos en sangre, ya que los valores de referencia son de 52.5 – 105 mg/dl (Manual de Patología clínica, 2010). Sin embargo Barriga y Funtúrbel (2011), mencionan que estos resultados obtenidos están dentro los valores normales de entre 10 a 400 mg/dL. Estos rangos están muy abiertos, por lo que no son un referente adecuado para la consideración de la presencia de síndrome metabólico en perros.

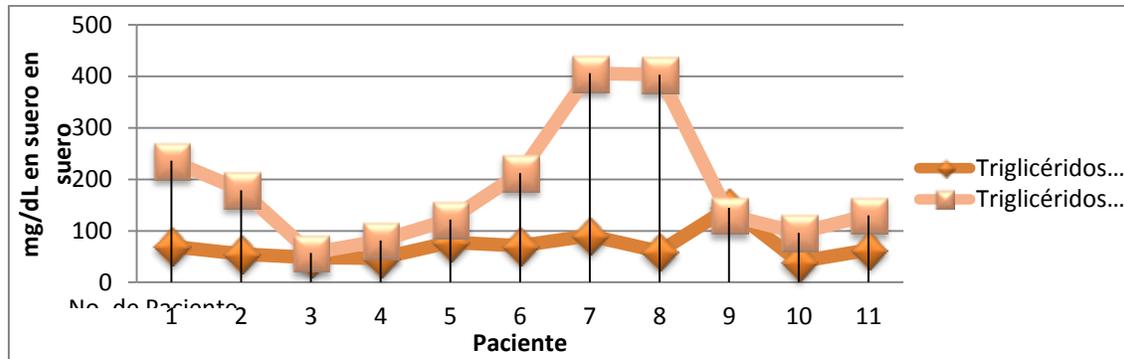


Figura 3. Gráfica diferencial de niveles de triglicéridos en suero antes y después de ingerir alimentos cada uno de los pacientes.

El comportamiento de la concentración de triglicéridos en las muestras analizadas, tuvieron la misma tendencia, tanto en ayunas como después de comer. Solamente la muestra siete, mostró niveles superiores a los 400 mg/dL. En este sentido, diversos autores coinciden en que niveles altos de triglicéridos en sangre, en perros obesos con una condición igual o superior de 4, presentan alguna de los indicadores de síndrome metabólico (Takeguchi, 2005; González- Domínguez y Bernal, 2010; Barriga y Funtúrbel, 2011; Verkest *et al.*, 2012; Verkest, 2013). El estudio nos indica una relación estrecha de la condición corporal es decir los pacientes con sobrepeso y sus niveles de triglicéridos en sangre. La gráfica 3 nos indica que los perros que se escogieron para este estudio no solamente estaban pasados de peso, sino que también padecen un síndrome metabólico a causa de los hábitos de alimentación y actividad física que realizan de manera desequilibrada, no realizan ejercicios que queman la energía que ingieren.

### Conclusiones

Las variables analizadas en este estudio (condición corporal, sexo, edad y raza), no tuvieron una relación directa con los indicadores de síndrome metabólico. Los 20 perros obesos analizados, mostraron niveles altos de triglicéridos, requisito fundamental como indicador del síndrome metabólico. Se recomienda un mayor número de animales para la determinación de la incidencia del síndrome metabólico en perros, además de incluir en el análisis, los niveles de la hormona proteica leptina.

## Referencias

- Barriga C. y F. E. Funtúrbel (2011). Revista Científica. *Cholesterol, glucose and triglycerides role in the prevalence of hiperlipidemia in dogs at higher elevations*. Vol XXI.Santiago. Chile
- Bunchwald H. (2009). Tratamiento quirúrgico de la Obesidad. Editorial Elsevier. España.
- Cabrera Blatter M.F., del Prado A., Galleli M.F., DÁnn E., Ivanic J., Esarte M., Miceli D.D., Gómez N.V. A.A. Castillo. (2012). Blindness in dogs with pituitary dependent hyperadrenocorticism: Relationship with glucose, cortisol an triglyceride concentration and with ophtalmic blood flow. *Research in Veterinary Science*. 92:387-392.
- Cerón J. (2008). Métodos para medir el grado de la obesidad en perros: entre la física y la bioquímica. Departamento de medicina y cirugía animal. Facultad de Veterinaria. España
- Díaz J., Fernández M.T., Paredes F. (1997) Metabolismo de los lípidos. *Aspectos básicos de bioquímica clínica* (pp. 76-77). Madrid. España.: Ediciones Díaz de Santos. <http://books.google.com.mx/books?id=Y1Qm0nRmAtsC&pg=PA76&dq=t%C3%A9cnicas+para+determinacion+de+colesterol&hl=es&sa=X&ei=hLPHUNCDF-mi2wXDyIEg&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=t%C3%A9cnicas%20para%20determinacion%20de%20colesterol&f=false> (Mayo, 2013)
- Gennaro A. R. (2003). Análisis Clínicos. En Médica panamericana (Eds). *Remington: Farmacia*. (pp. 657). Philadelphia. Estados Unidos. <http://books.google.com.mx/books?id=Av4IIsyH-qcC&pg=PA657&dq=metodo+para+determinar+glucosa+en+suero&hl=es&sa=X&ei=5STJUJn4ApDuqOHHg4C4BQ&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=metodo%20para%20determinar%20glucosa%20en%20suero&f=false> (Junio, 2013)
- González de Buitrago J. M. (2011). Obtención, transporte y procesamiento de especímenes. *Técnicas y métodos de laboratorio clínico*. (3ra. Edición). Elseiver. España. Pp. 52. Recuperado de: <http://books.google.com.mx/books?id=1DhTMPUiSvsC&pg=PA52&dq=anticoagulante+EDTA&hl=es&sa=X&ei=QIIRUYHqNIPM2AWhzoGoBg&ved=0CDUQ6AEwAQ#v=onepage&q=SST&f=false> (Abril, 2013)
- González-Domínguez M.S & L. Bernal. (2011). *Diagnóstico y manejo de la obesidad en perros: una revisión*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. Volumen 6. Medellín. Colombia. <http://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/2059/1951> (Mayo, 2013)
- JAAHA. (2010). Journal of American Animal Hospital Association. *Guías para la Evaluación Nutricional de perros y gatos de la Asociación Americana Hospitalaria de Animales (JAAHA)*. Pp. 288-291. Lakewood, Colorado. EUA.

- [https://www.aahanet.org/PublicDocuments/NAG\\_Spanish\\_color.pdf](https://www.aahanet.org/PublicDocuments/NAG_Spanish_color.pdf) (Septiembre, 2013).
- Manual Patología Clínica. (2013). Manual de prácticas de laboratorio de Patología Clínica. Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Programa Educativo de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto Tecnológico de Sonora. Páginas 21:87.
- Miranda L.M., Reza A. (2008). Obesidad, Infamación y diabetes. Departamento de endocrinología y metabolismo. DF. México.  
<http://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2008/gm081h.pdf> (Abril, 2013)
- Peña C., Suárez L., Juste M.C., Bautista I. & Montoya J.A. (2008) Un nuevo concepto de la morbilidad asociada a la obesidad canina, prevalencia del síndrome metabólico en perros. *Medicina Interna*. Vol. 28.  
<http://ddd.uab.cat/pub/clivetpeqani/11307064v28n1/11307064v28n1p81.pdf> (Abril, 2013)
- Sebán J. (2012). Control global del riesgo cardiometabólico. Editorial Díaz de Santos. Madrid España. Pagina 246.
- Steiner J. M. Xenoulis P.G. (2010). Lipid metabolism and hiperlipidemia in dogs. *The Veterinary Journal*. Vol. 183. Pp. 10.
- Takeguchi A. (2004). Activities of enzymes in some types of peripheral leucocytes may reflect the differences in nutrient metabolism between dogs and cats. Elsevier. Tokyo. Japón
- Tvarijonavičiute A. (2008). Métodos para medir el grado de la obesidad en perros: entre la física y la bioquímica. Departamento de Medicina. Facultad de veterinaria. Murcia. España.
- Vázquez M. (2007). PPAR alfa y síndrome metabólico. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona. Barcelona. España.
- Verkest K. (2012). Spontaneously obese dogs exhibit greater postprandial glucose, triglyceride, and insulin concentrations than lean dogs. Elsevier. Queensland. Australia
- Verkst K. (2013). The veterinary journal. Is the metabolic syndrome a useful clinical in dogs? A review of the evidence. Queensland. Australia.
- Xenoulis P.G & J. M. Steiner. (2005). Lipid metabolism and hyperlipidemia in dogs. *The Veterinary Journal*. 183:12-21.
- Zoran D. (2010). Obesity in Dogs and Cats: A Metabolic and Endocrine Disorder. Department of small animal clinical science. College of Veterinary Medicine and Biomedical Science. Texas. USA

**Capítulo VIII. Empleando la investigación para determinar la concentración de residuos de plaguicidas organoclorados por el Método Oficial de la AOAC 970.52 por cromatografía de gases, presentes en leche bronca de ganado bovino de la posta 910 del ITSON en Ciudad Obregón, Sonora**

Raúl Holguín Soto, José Luis Agüero Paredes, Blanca Lorenia Reyes Blanco y  
Roberto Rodríguez Ramírez  
Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [raul.holguin@itson.edu.mx](mailto:raul.holguin@itson.edu.mx)

**Resumen**

La contaminación por residuos de plaguicidas organoclorados en los alimentos se considera una seria amenaza para la salud humana por la alta toxicidad, bioacumulación y persistencia. La leche de vaca se utiliza como un indicador de la persistencia de los plaguicidas organoclorados en el medio ambiente, debido a la importancia de la misma y, en general, de los productos lácteos en la nutrición humana, especialmente en los niños. Ya que durante los años 60s, 70s y aún en la década de los 1980s, en varias zonas agrícolas del país, se aplicaron grandes cantidades de compuestos organofosforados (COP, por sus siglas en ingles) con especial énfasis en plaguicidas organoclorados como son el Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT) y sus derivados en muchas regiones de México. En la zona del Valle del Yaqui también se aplicaron grandes cantidades de estos compuestos que una vez aplicados, tardan mucho tiempo en degradarse y tanto el producto inicial como algunos de los productos de degradación son motivo de preocupación en cuanto a su probable efecto en la salud de los ecosistemas y del hombre. Por lo anterior se realizó un estudio en la leche bronca de la posta 910 del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) en Cd. Obregón Sonora, y comprar sus resultados con los límites máximos permitidos que establecen Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS) y los parámetros establecidos por las normas internacionales del CODEX ALIMENTARIUS. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue detectar y cuantificar la presencia de plaguicidas organoclorados en muestras de leche bronca de ganado bovino procedentes de la posta 910 del ITSON de Cd. Obregón, Sonora, por el método oficial de la AOAC 970.52 mediante cromatografía de gases, con la finalidad de conocer si estas cumplen con los límites máximos de residuos (LMR) y límite máximo de residuos extraños (LMRE) que establece la normativa internacional. La exactitud del método se determinó mediante el porcentaje de recobro en 4 muestras, obteniendo un rango entre el 70 y 91%, valores dentro del intervalo aceptable de la AOAC que establece un rango de 54,3 y 93,4% de recuperación para el método. Se analizaron 8 muestras de leche procedentes de la posta 910 del ITSON tomadas al azar aplicándole 2 repeticiones a 2 de las muestras. En esta investigación se encontraron residuos trazas de plaguicidas en 3 muestras, residuos de aldrín, endrín y heptacloro. El estudio concluyo que

los residuos de plaguicidas que se encontraron en algunas de las muestras de leche, resultaron de baja concentración, estando estas dentro de los límites máximos establecidos por los parámetros internacionales de la FAO/OMS y el CODEX,(2008).

### ***Introducción***

Las causas fundamentales de la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados en la leche son sus propiedades fisicoquímicas de persistencia, liposolubilidad y bioacumulación así como el uso excesivo de estos compuestos en las prácticas agropecuarias (Pinto, 1990) y el uso en el control de enfermedades transmitidas por insectos vectores. Estas actividades antropogénicas han traído como consecuencia la contaminación de los sustratos bióticos y abióticos, ya que al dispersarse entran a las cadenas tróficas donde se bioacumulan y el ganado expuesto a estos sustratos elimina residuos de plaguicidas en la leche.

En relación con el ganado vacuno lechero cabe mencionar que entre las principales causales de contaminación con residuos de pesticidas organoclorados, figuran: alimentos para uso animal (pradera, heno, concentrado, ensilaje, otros); control de parásitos en el animal; control de insectos en los establos; contaminación ambiental (agua, aire, suelo), entre otras (Luquet, 1974).

Los alimentos de origen animal como leche y carne se consideran la mayor fuente de residuos de estos plaguicidas en la alimentación humana. Diversos estudios registran presencia de los mismos plaguicidas en la leche humana. La toxicidad de estos compuestos ha sido confirmada por diferentes estudios: inducen actividad enzimática mediante radicales libres, alteran la respuesta inmunológica, afectan los procesos reproductivos, alteran el metabolismo lipídico, el transporte de vitaminas y de glucosa, algunos son considerados mutagénicos, teratogénicos o carcinogénicos (Durham, 1974), no sólo en la especie humana sino en las comunidades bióticas con diferente nivel de sensibilidad.

En México se calcula que existen alrededor de 900 plaguicidas y los cultivos en los que se usa el mayor volumen de insecticidas químicos son: maíz, algodón, papa, chile, tomate, frijol, trigo, aguacate, café y tabaco, en cantidades que van desde 395 hasta 13,163 ton de plaguicidas al año (AMIPFAC, 1995), mientras que los estados con mayor uso de plaguicidas son Sinaloa, Veracruz, Jalisco-Nayarit-Colima, Sonora-Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca, con el 80% de los

plaguicidas totales (Albert, 2005). Se emplean 260 marcas de productos químicos de las cuales 24 están prohibidas y 13 restringidas, siendo las principales causas de intoxicación debido a las deficientes medidas de control y previsión (CICLOPLAFEST, 2008).

La información disponible en cuanto al volumen y tipos de pesticidas aplicados anualmente en los campos agrícolas y el grado de contaminación orgánica con productos tóxicos en los cuerpos de agua es prácticamente inexistente. Hasta el año 2008, los estados con mayor producción agrícola a nivel nacional fueron Guanajuato, Sinaloa, Tamaulipas, Zacatecas y otros (SAGARPA, 2008), en donde destaca el uso intensivo de los agroquímicos. Al respecto, Cortinas de Nava (2007) señala que las zonas con mayor uso de plaguicidas en la agricultura o con fines sanitarios durante el 2000, fueron: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora-Baja California y Tamaulipas. Estos Estados representaron alrededor del 70% del consumo de los plaguicidas.

Este trabajo de investigación, contribuye al conocimiento sobre el mejoramiento en calidad de leche brúncica que es destinada al consumo humano. Ya que el medio en donde se mantiene el ganado podría estar contaminado por residuos de plaguicidas Organoclorados.

### ***Fundamentación teórica***

La cromatografía de gases es una técnica muy utilizada para separar los diferentes compuestos volátiles de una muestra. La fase móvil es un gas inerte, (nitrógeno o helio) que transporta la muestra volatilizada en el inyector a través de la columna cromatográfica. La fase estacionaria generalmente está constituida por una columna de metilpolisiloxano o derivados de éste. Los diferentes compuestos se separan en función de su grado de volatilidad (punto de ebullición, peso molecular) y su afinidad por la fase estacionaria. (Rubinson, 2001).

### ***Métodos empleados en el análisis de plaguicidas en alimentos***

El análisis de pesticidas en alimentos está sujeto a la complejidad de la matriz y a las concentraciones bajas a las cuales estos compuestos están presentes. Por lo tanto, la extracción de los residuos constituye el paso más crítico. Este paso consiste en la extracción de los analitos desde su matriz con un disolvente apropiado, opcionalmente se puede realizar la remoción de sustancias que podrían causar interferencias mediante varios pasos

de limpieza y finalmente, la reducción del volumen del disolvente en el extracto antes del análisis instrumental.

Después de la extracción, el análisis se continúa comúnmente con la separación de los analitos empleando cromatografía de gases (GC) o cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), acopladas a uno o varios detectores selectivos.

La leche es el producto obtenido del ordeño completo de las hembras mamíferas de distintas especies sanas y bien alimentadas. Se puede considerar como uno de los alimentos más completos que existen, ya que contiene proteínas, hidratos de carbono, grasas, vitaminas y sales minerales de alto valor biológico, hasta el punto de constituir el único alimento que consumimos durante una etapa muy importante de nuestra vida. Pero, por otro lado, la leche y los productos lácteos han sido asociados históricamente a importantes enfermedades humanas y pueden considerarse dentro de los alimentos más periceros.

La leche puede sufrir adulteraciones, como adición de agua, de suero, etc.; alteraciones, como acidificación y posterior coagulación, desnaturalización de proteínas, pérdida de vitaminas, etc., y contaminaciones. Los agentes contaminantes pueden ser de origen:

- Físico. Restos de paja, tierra.
- Químico. Restos de detergentes, medicamentos veterinarios, plaguicidas.
- Microbiológico. En este caso, la brucelosis o enfermedad de Malta, la tuberculosis, la listeriosis, la intoxicación estafilocócica, la clamidiasis y la intoxicación por micotoxinas son las afecciones más importantes.

Dentro de la producción mundial de alimentos de origen animal, la leche se encuentra catalogada como uno de los productos primarios, al igual que la carne y el huevo. Su producción proviene, principalmente, de ganado bovino.

Este alimento básico satisface algunos requerimientos nutricionales, gracias a su mezcla de proteínas (3,0-3,5%), grasa, carbohidratos, sales de calcio y fósforo (1%), vitaminas y otros componentes menores dispersos en agua; de manera tal, que los productos lácteos derivados pueden cubrir tanto diferentes hábitos de consumo, como usos muy distintos de interés nutricional (Martínez, H. 2005).

### *Los plaguicidas*

En el transcurso de los últimos 150 años, el hombre ha sintetizado diversos productos químicos con el objeto de satisfacer las necesidades crecientes del desarrollo tecnológico y mejorar su calidad de vida. Desde el inicio de la revolución industrial se estima que se han sintetizado más de 120 mil compuestos químicos (Olea, 2001).

En los últimos años ha cobrado importancia la potencialidad que tienen algunos compuestos químicos presentes en el medio ambiente, entre ellos plaguicidas Organoclorados y organofosforados los que al ser ingeridos como contaminantes de alimentos se comportan en el organismo como sustancias xenobióticas. Estos xenobióticos, son compuestos que siendo diferentes en su estructura química, tienen una acción similar al de algunas hormonas (Roncoet *al.*, 2001a). La industria química produce gran cantidad de estos compuestos xenobióticos, cuya estructura química difiere considerablemente de los compuestos orgánicos naturales; algunos de ellos con grupos halógenos y nitrogenados son utilizados como propelentes, refrigerantes, disolventes, bifenoles policlorados (PCBs), plásticos, detergentes, explosivos y plaguicidas, teniendo todos ellos, la propiedad de ser resistentes a la biodegradación. Otros, en cambio, se degradan muy lentamente, de un modo co-metabólico sólo en presencia de un segundo sustrato que es empleado como fuente primaria de energía o dando lugar a residuos, de tal manera que estos pueden ser convertidos en compuestos poliméricos de alta peligrosidad al ser diseminados en el ambiente (Intergovernmental Forum on Chemical Safety, IFCS 2003).

En cuanto al uso de agroquímicos en los Valles del Yaqui y Mayo, de Diciembre de 2008 a Mayo de 2009, se utilizaron 598,739 litros de estos plaguicidas, los cuales se utilizaron de la siguiente manera: fungicidas 36%, insecticidas 29%, herbicidas 15%, fertilizantes 10%, otros 10%. Estas cantidades utilizadas son de producto comercial terminado y hay que considerar que las concentraciones de ingrediente activo (IA) están en el rango de 25% al 80%.

Del total de insecticidas utilizado la distribución fue la siguiente: organofosforados: 60%, piretroides: 14%, carbamatos: 7% y organoclorados 7%. (Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora, 2010).

De todas las posibles clasificaciones, tal vez, la más interesante es la realizada en base a la naturaleza del plaguicida, en la que se aceptan tres grandes grupos: plaguicidas inorgánicos, orgánicos y biológicos.

Bajo la denominación de plaguicidas inorgánicos, se engloban aquellos que son derivados de arsénico, azufre, cobre, flúor, cianhídrico y aceites minerales. Dentro de los plaguicidas orgánicos se encuentran varios tipos: organoclorados, organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos, derivados de urea y triacinas y derivados vegetales, como nicotina, roterona o piretrinas. Finalmente, en el grupo de los plaguicidas biológicos encontramos los reguladores del crecimiento, fitohormonas, atrayentes, repelentes y depredadores de la plaga que se combate (Bautista, 2001).

#### *Riesgos de plaguicidas organoclorados*

El riesgo de exposición a plaguicidas organoclorados se asocia fundamentalmente con la exposición a largo plazo, a causa de su persistencia en el medio ambiente, acumulación en la grasa corporal y carcinogenicidad en animales de experimentación. Muchos de estos compuestos son potentes inductores de enzimas microsomales y pueden modificar el metabolismo de otras sustancias químicas. Dada la liposolubilidad, son bien absorbidos por vía oral, acumulándose en el tejido adiposo.

Los procesos de biotransformación generan, en muchos casos, metabolitos tóxicos con capacidad de acumulación similar a la del compuesto original. Se excretan principalmente en la orina, pero también pueden eliminarse por la leche. Por todo ello, la vigilancia de los residuos de plaguicidas organoclorados ha de incluir también sus principales metabolitos, cuyos mayores contenidos se encontrarán en los alimentos de origen animal. (Piédrola, 2002).

Los plaguicidas organoclorados, como dicloro-difenil-tricloroetano, dieldrín, toxafeno o endosulfán, pueden comportarse *in vivo* como estrógenos naturales, y el efecto hormonal inherente a estos compuestos químicos acarrea a veces graves consecuencias en la génesis de desórdenes y procesos morbosos. El aumento de cáncer de dependencia hormonal (mama, próstata, ovario, etc.) y de la incidencia de nuevos casos de esterilidad ligada a endometritis en la mujer y la azoospermia en el hombre, entre otros efectos, podrían estar ligados a una exposición a xenobióticos hormonales. (Piédrola, 2002).

### *Plaguicidas en leche*

Debido al porcentaje de lípidos presentes en la leche, ésta se convierte en un medio en el cual es de esperar la presencia de residuos de plaguicidas organoclorados o de algún metabolito de biotransformación de este. La toxicidad de estos compuestos, la cual se sitúa desde aguda a crónica, aun en pequeñas cantidades, ha sido confirmada por diferentes estudios.

Esta problemática determina la clara necesidad de establecer mecanismos de control y monitoreo en lo referente a la contaminación por plaguicidas organofosforados y organoclorados presentes en la leche destinada al consumo humano (Izquierdo, 2006).

La leche se contamina con insecticidas o pesticidas por medio del alimento resida a los animales o como resultado de la contaminación luego del ordeño. No se deben de permitir insecticidas en la leche. Una vaca que se le rece alimento o agua que ha sido expuesta a hidrocarburos clorinados puede llegar a excretar una porción significativa de ellos en la leche. Los hidrocarburos clorinados poseen una alta afinidad por los lípidos. Por lo tanto, productos lácteos que tengan un cierto contenido de grasa es muy probable que se encuentren afectados. Los recipientes que han sido utilizados para almacenar o mezclar pesticidas o insecticidas nunca deben de utilizarse para la leche. Ningún tipo o cantidad de lavados puede transformar a estos envases en seguros. Aún bajos niveles de tales sustancias químicas pueden ser carcinogénicas (productoras de cáncer) para el consumidor (Piédrola, 2002).

### *Efectos de los plaguicidas en la salud humana*

Los plaguicidas son productos químicos poco específicos, por lo que pueden producir intoxicaciones en el hombre, causando incluso la muerte. Uno de los puntos críticos en la cadena de la utilización de los plaguicidas radica en el momento de su aplicación. La incorrecta utilización de dosis excesivas, el incumplimiento de las medidas básicas de protección personal, ya sea el uso de batas, máscaras, etc., el vertido de restos de la utilización en lugares inadecuados, la limpieza de material utilizado y vertido del agua contaminada, etc., constituyen un riesgo importante para la salud, tanto para quien aplica los plaguicidas como para el resto de las personas que resultan afectadas por la introducción de contaminantes en el medio ambiente.

La gravedad de cualquier efecto tóxico está determinada por los siguientes factores: grado de toxicidad, dosis absorbida, vías de exposición (dérmica, inhalación, ingestión), facilidad con la que se absorbe el plaguicida, tipo de efectos producidos por el tóxico o sus metabolitos, acumulación y persistencia en el organismo (Piédrola, 2002). Los efectos en la salud humana son provocados por los siguientes medios (Ongley, 1997):

- Contacto a través de la piel. Manipulación de productos plaguicidas.
- Inhalación. Respiración de polvo o pulverizaciones.
- Ingestión. Plaguicidas consumidos como contaminantes en los alimentos o en el agua.

Los trabajadores agrícolas están sometidos a especiales riesgos asociados a la inhalación y contacto a través de la piel durante la preparación y aplicación de plaguicidas a los cultivos. No obstante, para la mayoría de la población, un vehículo importante es la ingestión de alimentos contaminados por plaguicidas.

### *Normatividad*

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son un conjunto de disposiciones que permiten regular técnicamente procesos, productos, sistemas, actividades, instalaciones, métodos de producción u operación y servicios, así como, la terminología, a través de establecimientos de directrices y criterios, que han de ser utilizados para la verificación del cumplimiento de las características o atributos de su aplicación. Hasta el momento no existe una norma oficial donde establezca los parámetros o límites máximos para plaguicidas en leche bronca, por lo cual se puede hacer uso de normas internacionales, como la comisión del Codex Alimentarius, establecida por la FAO y la OMS en 1963, la cual contribuye, a través de sus normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacionales, a la inocuidad, la calidad y la equidad en el comercio internacional de alimentos.

### *Metodología*

La Investigación para determinar plaguicidas organoclorados en muestras de leche bronca se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología y Trazabilidad Molecular de los Alimentos perteneciente al Instituto Tecnológico de Sonora (Edificio DIEP Campus Centro, Cd. Obregón, Sonora, México), en el periodo Octubre-Diciembre del 2014.

*Método de análisis.* El análisis para la detección de pesticidas organoclorados se efectuó por el Método AOAC 970.52, el cual emplea éter de petróleo, éter etílico y metanol como solventes para la extracción de la grasa de la leche, donde después se realizó una técnica de limpieza con particiones de acetonitrilo y éter de petróleo para la extracción de plaguicidas presentes en la muestra de leche y su posterior separación y purificación por cromatografía en columna. Finalmente su cualificación y cuantificación se hace por cromatografía de gases, usando un detector de captura de electrones.

*Preparación y ambientación de material.* El material de vidrio que se utilice para la determinación de plaguicidas, se sometió a lavado donde se aplicaron las siguientes instrucciones:

1. Se lavó perfectamente con agua y jabón, el cual deberá ser de preferencia neutro como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Lavado del material.  
Fuente: Agüero, 2014.

2. Se colocó el material en una solución con Extran® al 10% dejándolo por un periodo de 12 horas antes de su empleo.
3. Una vez concluido el lapso de tiempo se procedió a lavar el material con agua de la llave y sucesivamente con agua destilada.
4. Se dejó escurrir y secar.



Figura 2. Material a utilizar escurriéndose y secándose.  
Fuente: Agüero, 2014.

5. El material a utilizar se le colocó papel aluminio y se guardó en su gaveta hasta el momento de su uso.

*Procedimiento analítico.* Las muestras de leche para plaguicidas deben retirarse del refrigerador y ambientarse a temperatura ambiente para proceder a realizar la extracción de los plaguicidas como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Recipiente de la muestra de leche.  
Fuente: Agüero, 2014.

*Preparación de la muestras.* Cada uno de los recipientes de las muestras de leche procedentes de la posta 910 del ITSON, se retiró de refrigeración y se dejó a temperatura ambiente durante 20 minutos, después se agitó para homogenizar el contenido.

*Preparación del material para la extracción de plaguicidas.* Se enjuagaron dos veces sucesivamente con acetona y éter de petróleo grado cromatográfico en la campana de extracción especial para vapores de solventes como se observa en la figura 4, los siguientes materiales: embudo de separación, matraz Erlenmeyer, vasos precipitados, tapones de embudo de separación, embudo cónico, pipetas, probetas y viales.



Figura 4. Material ambientado con acetona y éter de petróleo sucesivamente.  
Fuente: Agüero, 2014.

*Preparación de la mezcla de estándares de plaguicidas.*

- Los estándares de plaguicidas son preparados a partir de estándares de alta pureza entre un 97 y 100 % de pureza, o adquieránse como soluciones certificadas.  
Prepárese mediante una pesada precisa de 0,0100 g de material puro, considerando una pureza del cien por ciento y disuélvanse en hexano. Se transfirió las soluciones de reserva a botellas con tapón de rosca revestidas de teflón. Se almacenó a 4 °C en un recipiente de vidrio cerrado con teflón.
- Se preparó la solución estándar de 1000 mg/L. A partir de ésta se preparó una de 10 mg/L, tomando una alícuota de 100 µL de la solución de 1000 ppm y se aforó a 10 mL con hexano.
- Se prepararon mezcla de los estándares de plaguicidas: lindano, B-BHC, endrín, dieldrín, heptacloro, epóxido de heptacloro, pp DDE, pp DDD y metoxicloro en concentraciones de 0.03 mg/L a partir de la solución estándar de 10 mg/L se preparó la solución estándar de 0,03 mg/L., tomando una alícuota de 30 µL y aforándolo a 10 mL con hexano.
- Se inyectó 1 µL de la muestra concentrada de plaguicidas en el cromatógrafo de gases para dar lectura y expresar los datos cualitativos de la mezcla en un lapso de 16 minutos aproximadamente.

**Resultados y discusión**

Para la realización de la presente investigación fueron evaluados 15 plaguicidas organoclorados:  $\gamma$ -BHC, lindano, heptacloro,  $\beta$ -BHC,  $\alpha$ -BHC, aldrín,  $\alpha$ -clordano, epóxido de heptacloro,  $\beta$ -clordano, pp-DDD, dieldrín, endrín, pp-DDD, pp-DDT, metoxicloro.

EL análisis cualitativo como ya se mencionó anteriormente se determinó utilizando una columna cromatográfica Varían VF-1701 a la cual se le inyectó la mezcla de los estándares de plaguicidas organoclorados con concentración conocida para que el detector identificara cada uno de los compuestos y conocer los tiempos de retención (Tabla 1), los cuales fueron desde que se inyectó la muestra y lo que tardó en separarse los compuestos de los estándares durante el tiempo de corrida de análisis para así poder compararlos con los picos detectados observándose en la figura 5, mostrando en el eje de las X el tiempo en minutos y en el eje de las Y la frecuencia en milivolts.

Como resultado del análisis cromatográfico se logró identificar residuos de plaguicidas en 3 de las muestras, como, aldrín en el minuto 13.204 con una concentración 0.0004538 mg/kg. El endrín se encontró al minuto 15.7021 y se pudo determinar su concentración de 0.0001038 mg/kg. Además hubo presencia de residuos de plaguicida heptacloro con una concentración de 0.0001552 mg/kg. Las concentraciones encontradas en la muestras de leche estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles que estable la FAO/OMS y Codex (Tabla 2).

Tabla 1. Tiempos de retención de la mezcla de estándares de plaguicidas organoclorados.

PLAGUICIDAS	TIEMPO DE RETENCIÓN (Tr) (minutos)
$\gamma$ -BHC	10.242
Lindano	10.785
Heptacloro	12.448
$\beta$ -BHC	12.689
$\alpha$ -BHC	12.767
Aldrín	13.211
$\alpha$ -Clordano	13.904
Epóxido de heptacloro	14.063
$\beta$ -Clordano	14.112
PP-DDE	15.298
Dieldrín	15.337
Endrín	15.726
PP-DDD	16.122
PP-DDT	16.804
Metoxicloro	17.864

Fuente: Laboratorio de Análisis Especiales, 2014.

Tabla 2. Comparación de los resultados de las concentraciones con los Límites Máximos de Residuos LMR establecidos por la FAO/OMS y Codex.

Plaguicida	Concentración muestra mg/kg	Concentración mg/kg FAO/OMS y Codex
Endrín	0.0001038	0.0008
Aldrín	0.004538	0.006
Heptacloro	0.0001552	0.006

Fuente: FAO/OMS y Codex, 2014.



- Con la presente investigación se cumplió el objetivo de identificar y determinar las concentraciones de plaguicidas organoclorados en muestras de leche procedentes de la posta 910 del ITSON, por lo tanto se concluye que la leche es de buena calidad y cumple los parámetros de acuerdo a los resultados de los análisis cualitativos y cuantitativos, estos se encuentran por debajo de los límites máximos de residuos que establecen los parámetros internacionales de la FAO/OMS y Codex, con los de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis cuantitativo y no representan un peligro nocivo para la salud y esta leche puede ser utilizada para consumo humano o para la elaboración de productos lácteos.
- Se recomienda a los sistemas de control en la posta 910 del ITSON, realizar monitoreo con análisis a la leche bronca para así asegurar la calidad de la misma, y llevar una trazabilidad de las concentraciones para evaluar que los sistemas de producción acuícolas no representen un riesgo para el cultivo de camarón así como para la salud de los consumidores de este alimento.

### ***Referencias***

- Bautista A. 2001. Nuevos métodos luminiscentes para la determinación de pesticidas en agua. Badajoz.
- CICOPLAFEST. 2008. Catálogo oficial de plaguicidas. México. 454 p.
- Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora, A.C. COSAES. 2010. Monitoreo de contaminantes en cuerpos de agua y estanques de unidades de producción de camarón. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: México. 51 p.
- FAO. 2003. Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 40 p.
- Intergovernmental forum on chemical safety. IFCS. 2003. FORUM IV. Bangkok, Tailandia. 1 – 7 de noviembre de 2003.
- Luquet, 1974. Les résidues de pesticides organoclorés dans les laits animaux et humains, *Le Lait* 54: 269-301.
- Martínez, H. (2005). La Cadena de Lácteos en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (En línea).

Disponible en: [www.redlactea.org/lacteos/documentos/acuerdo%20competitividad.pdf](http://www.redlactea.org/lacteos/documentos/acuerdo%20competitividad.pdf)

- Olea, N. y Fernández, M. 2001. Congreso de implementación del convenio de contaminantes orgánicos persistentes. 26-27 noviembre de 2001, Madrid, España. 2p.
- Piédrola, G. 2002. Medicina Preventiva y Salud Pública. 10ma. Edición. Editorial Masson, S.A.: España. Pág. 428.
- Ronco, A., Llanos, M., Valladares, L. y Garrido, A. 2001a. Riesgo potencial para la salud humana de los xenobióticos ambientales como moduladores endocrinos. *Rev. Chil. Nutr.* 28 (3); 406-413.
- Rubinson, K. A.; Rubinson, J. F. 2001. Análisis instrumental. 1ra. Edición. Pearson Editorial, S. A. Madrid, España. Pp. 872.
- SAGARPA. 2008. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. (En línea). Disponible en:  
[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)

## Capítulo IX. Quelación de $\text{Fe}^{+2}$ y $\text{Cu}^{+2}$ mediante los productos de la reacción de Maillard

Roberto Rodríguez Ramírez, Jaime López Cervantes, Dalia Isabel Sánchez Machado, José de Jesús Balderas Cortes y Juan Bautista Flores Quezada  
Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [roberto.rodriguez@itson.edu.mx](mailto:roberto.rodriguez@itson.edu.mx)

### Resumen

La reacción de Maillard es una reacción de pardeamiento no enzimático y se le atribuye ser responsable de la formación de ciertos sabores, colores y aromas en algunos alimentos. Durante el transcurso de la reacción de Maillard se produce un amplio número de compuestos con estructura y actividades biológicas desconocidas. Se sabe que determinados productos de la reacción de Maillard (PRM) pueden tener un impacto, tanto positivo como negativo, en la salud. Por ello, es importante la selección de condiciones apropiadas que favorezcan la formación de compuestos beneficiosos para la salud y reduzcan la formación de posibles tóxicos. Uno de los aspectos más novedosos de PRM es la actividad quelante y antioxidante, por lo que la búsqueda de compuestos con propiedades funcionales es un reto para mejorar la salud. El objetivo del presente trabajo es evaluar *in vitro* sistemas modelo aminoácido-azúcar para el estudio de su actividad quelante. Se evaluaron cuatro sistemas modelo acuosos equimolar: Lisina-fructosa, cisteína-fructosa, glicina-fructosa e isoleucina-fructosa donde estos fueron calentados a 100 °C y 130 °C durante 30, 60 y 90 min. Los parámetros analizados fueron capacidad quelante en  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$  mediante espectrofotometría UV-visible (562, 632 nm, respectivamente). El sistema lisina-fructosa presentó el mayor poder quelante en  $\text{Fe}^{+2}$  con 75.51 % (100 °C) y 51.03 % (130 °C) mientras que para  $\text{Cu}^{+2}$  fueron glicina-fructosa con 50.68 % (130 °C) y lisina-fructosa 48.59 % (100 °C), los sistemas modelo que presentaron menor capacidad quelante en  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$  fueron glicina-fructosa y cisteína-fructosa respectivamente.

*Palabras clave:* quelación, propiedades funcionales, reacciones de Maillard.

### Introducción

Debido al creciente interés del ser humano de formar hábitos saludables durante los últimos años, este ha generado una mayor conciencia sobre la importancia de relacionar la salud y los posibles atributos de las propiedades estructurales de los alimentos. Dentro de estas cualidades exigen que sus alimentos presenten valor nutritivo, propiedades organolépticas apetecibles o mejoradas en el alimento, así como el obtener un beneficio adicional en cuanto a su salud. Algunos de estos alimentos se han enfocado a la prevención

de enfermedades mediante la interacción e introducción de sus compuestos con el sistema biológico donde se desarrolla el cáncer, la diabetes, enfermedades cardiovasculares, osteoporosis, envejecimiento, entre otras. Esto ha impulsado a la industria alimentaria a renovar y desarrollar la búsqueda de nuevos alimentos o ingredientes con características bioactivas, dando lugar a la aparición de los llamados alimentos funcionales.

La reacción de Maillard es uno de los fenómenos más comunes e importantes que tiene lugar durante el procesamiento o almacenamiento de los alimentos. Esta reacción también conocida como una reacción de pardeamiento no enzimático la cual se forma por la relación entre un azúcar reductor y un aminoácido (Martins *et al.*, 2001). Dependiendo de la naturaleza de los reactantes, la reacción de Maillard dará lugar a la formación de un gran número de compuestos denominados Productos de la Reacción de Maillard (PRM) (Kim y Lee, 2010). Los PRM representan hoy en día un área de interés para la gama de los alimentos funcionales y la tecnología de alimentos.

En la industria de alimentos los PRM obtienen relevancia debido a su contribución en las propiedades sensoriales y organolépticas en los alimentos tales como, asado, horneado o freído de los alimentos. Debido a los cambios de estilo de vida, la dieta actual en algunos países desarrollados y en vías de desarrollo, el consumo de comidas rápidas y alimentos pre-cocinados ha incrementado, lo que se traduce en forma general en un aumento de la ingesta de PRM. Se sabe que determinados PRM pueden tener un impacto en la salud de los seres humanos, uno de los aspectos más novedosos en cuanto a los efectos benéficos de los PRM es la actividad antioxidante o la capacidad de neutralizar radicales libres y atrapar metales (Jaeger *et al.*, 2010).

Los PRM poseen las características de comportarse como polímeros con capacidad de unirse a moléculas más pequeñas, permitiéndoles la habilidad o función de quelar o secuestrar ciertos metales de transición como es el caso de  $Fe^{+2}$  y  $Cu^{+2}$ , donde dichos metales se encuentran implicados en la reacción de oxidación y en la generación de radicales libres, los cuales generan un deterioro celular (Limsuwanmanee *et al.*, 2014).

La ausencia y degradación de antioxidantes, como la capacidad de quelar algunos metales considerados nocivos en los alimentos naturales y procesados, pueden verse complementadas y/o equilibrados por la adición o por la potencialización de nuevos compuestos que presenten actividad antioxidante y quelante durante procesos que implique

el uso de temperaturas como es el cocinado de los alimentos. En base a lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad quelante *in vitro* mediante sistemas modelo acuosos aminoácido-azúcar.

### ***Fundamentación teórica***

La reacción de Maillard (RM) es una reacción de pardeamiento no enzimático que tiene lugar entre el grupo amino de un aminoácido, péptido o proteína y el grupo carbonilo de un azúcar reductor, tal como glucosa o fructosa (Ren *et al.*, 2015). Dado que estos compuestos están presentes en la mayoría de los alimentos, las derivaciones de la reacción de Maillard son de gran importancia para la industria alimentaria (Echavarría *et al.*, 2012). La reacción de Maillard es responsable de la formación de ciertos sabores, colores y aromas durante los procesos tradicionales e industriales de algunos alimentos, tales como la cocción de pan, de carne, el tostado de los granos de café, cacao y cereales, entre otros (Karangwa *et al.*, 2015).

Durante el transcurso de la reacción de Maillard se produce una amplia gama de compuestos intermedios, a los cuales se hace referencia colectivamente como productos de la reacción de Maillard (PRM), predecesores de los compuestos poliméricos de alto peso molecular conocidos como melanoidinas (Ren *et al.*, 2015). La importancia de los PRM se debe a que estos compuestos podrían deteriorar o mejorar la calidad global de los productos alimenticios (Echavarría *et al.*, 2012).

Los productos de la reacción de Maillard han sido estudiados mediante sistemas modelo y alimentos reales. Se les atribuyen diversas habilidades nutraceuticas, como actividad antioxidante (Kim & Lee, 2010), capacidad quelante (Limsuwanmanee *et al.*, 2014), potencial antimutagénico (Reichhold *et al.*, 2007), actividad antimicrobiana (Rufián-Henares & P. de la Cueva, 2009), entre otras. Recientemente, los productos de la reacción de Maillard también se han asociado con la formación de compuestos potencialmente cancerígenos, como la acrilamida (Yuan *et al.*, 2008).

Se sabe que los metales esenciales en concentraciones adecuadas, son propicios para el crecimiento u óptimo desarrollo. Sin embargo, a medida que avanza el nivel trófico de la cadena alimenticia, la bioacumulación de dichos metales, en algunos casos, alcanza concentraciones tóxicas para los seres humanos (Klaassen & Watkins, 2001).

Las propiedades quelantes de los PRM están relacionadas con su carga aniónica y su capacidad para quelar algunos cationes tales como Fe, Zn, y Cu. Estos metales son esenciales para el crecimiento y la supervivencia de patógenos como bacterias. Asimismo, estos metales incurren como catalizadores de los procesos oxidativos a nivel biológico, derivando en daño oxidativo. Por ende, la capacidad quelante de los PRM contribuye a las actividades antioxidantes y antimicrobianas en los alimentos e *in vivo* (Rufián-Henares & P. de la Cueva, 2009; Ruíz, 2009).

### **Metodología**

El presente trabajo de investigación fue desarrollado dentro del Laboratorio de Biotecnología y Trazabilidad Molecular de los Alimentos del Instituto Tecnológico de Sonora. Los productos químicos utilizados fueron de grado analítico de los cuales D-(+)-Fructosa, L-Cisteína, L-Isoleucina, sulfato de cobre (II) penta-hidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), cloruro de hierro (II) tetra-hidratado ( $\text{Cl}_2\text{Fe} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), FerroZina<sup>TM</sup> ( $\text{C}_{20}\text{H}_{13}\text{N}_4\text{NaO}_6\text{S}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ), Piridina ( $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ ) y Violeta de Pirocatecol ( $\text{C}_{19}\text{H}_{14}\text{O}_7\text{S}$ ) se adquirieron de Sigma-Aldrich®. El agua fue grado Milli-Q®.

*Preparación de la Reacción de Maillard.* Para obtener los productos de la reacción de Maillard (PRM) se prepararon sistemas modelos siguiendo la metodología de Jeong *et al* (2010), con algunas modificaciones, donde esta consistió en preparar soluciones equimolares acuosas 0.2 M cada aminoácido (Lisina, Isoleucina, Glicina y Cisteína), las cuales fueron mezcladas con una solución de Fructosa 0.2 M en relaciones equimolares (1:1) para obtener una concentración final de 0.1 M, dentro de un vial de 10 mL posteriormente los sistemas modelos fueron calentados en horno a la temperatura de 130 °C por intervalos de tiempo separados a 30, 60 y 90 minutos. Una vez obtenido el tiempo para cada tratamiento térmico se procedió a inactivar o parar la reacción de formación de los productos de Maillard mediante inmersión de los viales en agua con hielo. Una vez inactivada la reacción se procedió a filtrar cada muestra a través de un filtro de 0.45 µm de marca Millipore mediante jeringas de plástico de 5 mL.

Una vez filtradas las muestras se diluyeron 16 veces donde se encontraban contenidos los productos de la reacción de Maillard. Todos los sistemas modelos fueron

preparados por triplicado para la determinación de la capacidad quelante de  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  mediante un ensayo espectrofotométrico en la región de UV-visible.

*Determinación de Capacidad Quelante.* La capacidad de los productos de la reacción de Maillard (PRM) para quelar los iones de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) fue realizada de acuerdo a Kim y Lee (2010), con algunas modificaciones. Donde 300  $\mu\text{L}$  de sulfato cúprico ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ) 2 mM fue mezclado con 300  $\mu\text{L}$  de piridina y 6  $\mu\text{L}$  de pirocatecol violeta (0.1 %), por último se agregaron 300  $\mu\text{L}$  de los productos de la reacción de Maillard (diluidos 16 veces) dentro en un vial de 10 mL, esto se realizó para cada sistema modelo Aminoácido-Azúcar.

Posteriormente 302  $\mu\text{L}$  de cada muestra fueron depositados de manera individual en (micro pozo) una placa tipo ELISA NUNC-F 96 de acuerdo a Bersuder *et al* (2001), la desaparición del color azul debido a la disociación de  $\text{Cu}^{+2}$  con la unión de los productos de la reacción de Maillard, fue registrada por la medición de la absorbancia a una longitud de onda de 632 nm en un espectrofotómetro UV Thermo Scientific Multiskan Go. Como blanco, se sustituyeron de la mezcla los productos de la reacción de Maillard por 300  $\mu\text{L}$  de agua desionizada.

Para la determinación de la quelación de  $\text{Fe}^{+2}$ , se mezcló 100  $\mu\text{L}$  de muestras de PRM diluido dieciséis veces, 600  $\mu\text{L}$  de agua desionizada Milli-Q® y 100  $\mu\text{L}$  de  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.2 mM. La mezcla se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 30 segundos. La mezcla así obtenida se completó más tarde con 200  $\mu\text{L}$  1 mM de FerroZina™. Posteriormente se monitorearon los cambios de color de las muestras a 562 nm. El blanco consistió en la mezcla de reacción conteniendo 100  $\mu\text{L}$  de agua desionizada Milli-Q® en lugar de la muestra.

La capacidad quelante de  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  se calculó utilizando la siguiente formula:

$$\text{Capacidad quelante (\%)} = \frac{A_o - A_s}{A_o} \times 100$$

Donde  $A_o$  es la absorbancia del blanco y  $A_s$  la absorbancia de cada muestra.

*Diseño experimental y Análisis estadístico.* El diseño experimental consistió en la aplicación de un modelo factorial  $2 \times 3 \times 4$ , obteniendo un total de 24 tratamientos para todos los modelos. El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza al 95 % de

confianza entre los tratamientos, teniendo como variable respuesta la capacidad quelante y utilizado el programa Statgraphics 5.1 del 2000.

### **Resultados y discusión**

Todas las muestras analizadas fueron capaces de quelar  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$ . El potencial quelante osciló entre el 2.28 – 75.51 % de iones férricos y del 27.97 – 50.68 % (Tabla 1) en el caso de los iones cúpricos. Los resultados encontrados indican que el sistema modelo lisina-fructosa fue el que presentó mayor porcentaje de capacidad quelante en  $\text{Fe}^{+2}$  con un 75.51 %, a una temperatura de 100 °C durante 60 minutos, mientras que para este mismo metal se obtuvo 51.03 % de quelación a 130°C por 30 minutos (Tabla 2).

Se sabe que la afinidad de los PRM con los iones metálicos se asocia con la capacidad antioxidante porque los metales de transición especialmente  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$ , están implicados en la generación de radicales libres como los radicales hidroxilo derivados de la reacción de Fenton e implicados en la oxidación desoxirribosa. Se han reportado diferentes sistemas modelo tales como lisina-fructosa, lisina-glucosa y lisina-ribosa, capaces de disminuir dicha oxidación (oxidación de la desoxirribosa) (Kitts & Jing, 2004), esto concuerda a lo encontrado en este estudio.

El mayor potencial quelante para  $\text{Cu}^{+2}$  lo presentó el sistema modelo glicina-fructosa, con 50.68 % a 130 °C al tiempo de 30 min (Tabla 3). Kim & Lee (2010), reportaron el potencial quelante y antioxidante de los PRM derivados de los sistema modelo glicina, diglicina y triglicina, glicosados con fructosa a 100 °C durante 10, 60, 120, 180 y 240 min. Todas las muestras de PRM en ese estudio exhibieron un efecto quelante de  $\text{Cu}^{+2}$  alrededor del 20%, y una capacidad quelante de  $\text{Fe}^{+2}$  alta, desde 21 hasta 68% en función del tiempo de calentamiento lo cual el porcentaje de quelación para dichos fue mayor en este estudio comparado con el Kim & Lee (2010).

Tabla 1. Rangos encontrados de % capacidad quelante considerando las dos temperaturas a los tres tiempos.

Metal		Cu			Fe	
Temperatura (°C)		100	130	100	130	
Modelo	Cys-Fru	36.77 – 37.29	27.97 – 40.02	3.68 – 8.27	5.28 – 13.27	
	Gly-Fru	43.85 – 48.28	46.93 – 50.68	2.28 – 9.04	4.39 – 10.09	
	Iso-Fru	39.20 – 45.16	37.38 – 39.35	5.59 – 5.82	6.77 – 8.86	
	Lys-Fru	45.07 – 48.59	39.18 – 45.23	12.04 – 75.51	9.79 – 51.03	

Cis-Fru = Cisteína-Fructosa, Iso-Fru = Isoleucina-Fructosa, Gli-Fru = Glicina-Fructosa, Lis-Fru = Lisina-Fructosa.

Tabla 2. Capacidad quelante de los PRM mediante sistemas modelo amino-azúcar en Fe.

Temperatura (°C)	100			130		
Tiempo (Minutos)	30	60	90	30	60	90
Cys-Fru	3.68 ± 0.28 (0.075)	<sup>a</sup> 5.06 ± 0.83 (0.164)	8.27 ± 0.11 (0.014)	<sup>a</sup> 5.28 ± 2.22 (0.420)	<sup>a</sup> 5.88 ± 0.02 (0.003)	13.27 ± 0.54 (0.041)
Gly-Fru	2.64 ± 0.51 (0.192)	9.04 ± 0.07 (0.007)	2.28 ± 0.20 (0.086)	<sup>a</sup> 4.39 ± 1.00 (0.227)	4.47 ± 0.29 (0.066)	<sup>a</sup> 10.09 ± 0.70 (0.070)
Iso-Fru	5.59 ± 0.05 (0.009)	<sup>a</sup> 5.79 ± 0.52 (0.090)	5.82 ± 0.86 (0.148)	8.86 ± 0.36 (0.041)	<sup>a</sup> 6.85 ± 0.62 (0.091)	6.77 ± 0.38 (0.055)
Lys-Fru	53.41 ± 0.41 (0.008)	75.51 ± 0.15 (0.002)	12.04 ± 0.55 (0.046)	51.03 ± 0.10 (0.002)	10.87 ± 0.38 (0.035)	<sup>a</sup> 9.79 ± 0.80 (0.082)

Cifras con mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Duncan,  $P \leq 0.05\%$ ) ( $n=3$ ); % Quelación ± SD (CV). Cis-Fru = Cisteína-Fructosa, Iso-Fru = Isoleucina-Fructosa, Gli-Fru = Glicina-Fructosa, Lis-Fru = Lisina-Fructosa.

Tabla 3. Capacidad quelante de los PRM mediante sistemas modelo amino-azúcar en Cu.

Temperatura (°C)	100			130		
Tiempo (Minutos)	30	60	90	30	60	90
Cys-Fru	36.77 ± 0.780 (0.021)	34.04 ± 0.565 (0.017)	37.29 ± 0.215 (0.006)	27.97 ± 0.735 (0.026)	35.98 ± 0.152 (0.004)	40.02 ± 0.367 (0.009)
Gly-Fru	43.85 ± 0.072 (0.002)	45.69 ± 0.125 (0.003)	48.28 ± 0.305 (0.006)	50.68 ± 0.045 (0.001)	48.38 ± 0.233 (0.005)	46.93 ± 0.117 (0.002)
Iso-Fru	39.20 ± 0.161 (0.004)	39.43 ± 0.197 (0.005)	<sup>a</sup> 45.16 ± 0.090 (0.002)	39.35 ± 0.063 (0.002)	38.45 ± 0.045 (0.001)	37.38 ± 0.233 (0.006)
Lys-Fru	48.59 ± 0.036 (0.001)	47.53 ± 0.108 (0.002)	<sup>a</sup> 45.07 ± 0.287 (0.006)	45.23 ± 0.269 (0.006)	39.18 ± 0.054 (0.001)	39.20 ± 0.332 (0.008)

Cifras con mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Duncan,  $P \leq 0.05\%$ ) ( $n=3$ ); % Quelación ± SD (CV). Cis-Fru = Cisteína-Fructosa, Iso-Fru = Isoleucina-Fructosa, Gli-Fru = Glicina-Fructosa, Lis-Fru = Lisina-Fructosa.

## **Conclusiones**

Los sistemas modelo Azúcar-Aminoácido empleados y optimizados permitieron producir y desarrollar productos de la reacción de Maillard para la determinación de la capacidad quelante de estos.

El método espectrofotométrico (UV-VIS) optimizado en este estudio permite determinar la capacidad quelante de los PRM para iones  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+2}$ .

Los sistemas modelo lisina-fructosa, cisteína-fructosa, glicina-fructosa e isoleucina-fructosa son capaces en su totalidad de quelar iones  $\text{Cu}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+2}$  a concentraciones de 0.1 Molar para ambos metales.

La formación de quelatos o compuestos quelantes desarrollados por los productos de la reacción de Maillard en los sistemas modelo evaluados mostraron mayor destreza o poder quelante a los 60 minutos en la temperatura de 130 °C para los iones  $\text{Fe}^{+2}$ .

La quelación máxima presentada para los iones  $\text{Cu}^{+2}$  fue a los 30 minutos a 100 y 130 °C para los modelos glicina-fructosa y lisina-fructosa.

Se infiere que los sistemas modelos Azúcar-Aminoácido evaluados tienen o presentan capacidad quelante sobre iones  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{Cu}^{+2}$ , donde dicho potencial puede llegar a presentar efecto sobre algunos metales que se convierten en bioacumulables debido a la ingesta de algunos alimentos o productos utilizados en la industria de los alimentos que contengan algunos de estos metales por diversas razones. Por lo anterior, los productos de la reacción de Maillard formados en la presente investigación podrían utilizarse como aditivos alimentarios alternativos para quelar metales pesados en los alimentos y con esto potencializar en particular la gama de alimentos funcionales que involucren estas reacciones.

## **Referencias**

- Bersuder, P., Hole, M., Smith, G. (2001). Antioxidants from a heated histidine-glucose model system. Investigation of the copper (II) binding ability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(11), 1079–1082.
- Echavarría, A.P., Pagán, J. & Ibarz, A. (2012). Melanoidins formed by Maillard reaction in food and their biological activity. *Food Engineering Reviews*, 4(4): 203–223.

- Jaeger, H., Janositz, A., Knorr, D. (2010). The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biologie*, 58(3), 207–213.
- Jeong, H.S., Hwang, I. G., Kim, H.Y., Woo, K.S., & Lee, J. (2010). Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar-amino acid model system. *Food Chemistry*, 126(1), 221–227.
- Karangwa, E., Zhang, X., Murekatete, N., Masamba, K., Raymond, L.V., Shabbar, A., Zhang, Y., Duhoranimana, E., Muhoza, B. & Song, S. (2015). Effect of substrate type on sensory characteristics and antioxidant capacity of sunflower Maillard reaction products. *European Food Research and Technology*. 240(5), 939–960.
- Kim, J. & Lee, Y. (2010). Characteristics and antioxidant Activity of Maillard reaction products from fructose-glycine oligomer. *Food Science and Biotechnology*, 19(4): 929–940.
- Kitts, D.D. & Jing, H. (2004). Antioxidant activity of sugar-lysine Maillard reaction products in cell free and cell culture systems. *Archives of Biochemistru and Biophysics*, 429(2), 154–163.
- Klaassen, C. & Watkins, J. (2001). En Casarett & Doull Manual de Toxicología: La Ciencia Básica de los Tóxicos. 5a Edición. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., México D.F., pp. 659–695.
- Limsuwanmanee, J., Chaijan, M., Manurakchinakorn, S., Panpipat, W., Klomklao, S & Benjakul, S. (2014). Antioxidant activity of Maillard reaction products derived from stingray (*Himantura signifier*) non-protein nitrogenous fraction and sugar model systems, *Food Science and Technology*. 57(2), 718–724.
- Martins, S, Jongen W, Van Boekel M, (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9-10), 364–373.
- Ren, G., Zhao, L., Sun, Q., Xie, Hu., Lei, Q. & Fang, W. (2015). Explore the reaction mechanism of the Maillard reaction: a density functional theory study. *Journal of Molecular Modeling*, 21(5):132.
- Reichhold, S., Koschutnig, K. & Wagner, K.H. (2007). The potential antimutagenic and antioxidant effects of Maillard reaction products used as “natural antibrowning” agents. [Abstract]. *BMC Pharmacology*. (Suppl 2):A72
- Rufián-Henares, J.A. & P. de la Cueva, S. (2009). Antimicrobial activity of coffe melanoidins: A study of their metal-chelanting properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2), 432–438.

- Ruíz, B. (2009). En Propiedades antioxidantes de los productos de las reacciones de Maillard y su influencia en la absorción de hierro y cobre. Relación con la capacidad quelante de metales. Granada: Editorial de la Universidad de Granada., pp 55; 177.
- Yuan, Y., Zhao, G.H., Hu, X.S., Wu, J.H., Liu, J. & Chen, F. (2008). High correlation of methylglyoxal with acrylamide formation in glucose/asparagine Maillard reaction model. *European Food Research and Technology*, 226(6), 1301-1307.

## Capítulo X. Obtención de compuestos bioactivos por vía enzimática a partir de sustratos vegetales no convencionales

María Isabel Estrada Alvarado, Luis Alberto Cira Chávez, Laura Elisa Gassós Ortega,  
Lourdes Mariana Díaz Tenorio, Saúl Ruiz-Cruz y Carlos Sañudo Ruíz  
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

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una planta cuyo fruto de tipo baya, es típicamente rojo. Es considerado un vegetal y se consume de diferentes maneras, tanto crudas como cocidas, esto para ensaladas, salsas, sopas y bebidas. En 2011 el estado de Sonora cosechó 60,718 toneladas, cuyo valor de producción fue de 336.6 millones de pesos. El tomate contiene un sinnúmero de compuestos que pueden usarse en la industria textil, de alimentos y de la salud. Una de las sustancias de interés es el licopeno, un compuesto de color rojizo que no es soluble en agua, por lo que se considera un pigmento resistente al lavado, puede emplearse para teñir telas y dar color a los alimentos. Se realizó la extracción de licopeno mediante la aplicación de 4 tratamientos, los cuales consistieron en la adición de enzimas comerciales tales como: celulasa, pectinasa y mezcla enzimática a una concentración de 1.5 mg/L a una temperatura de 55, 60 y 55 °C respectivamente, con 100 rpm durante 20 minutos, así como una extracción química por medio de solventes orgánicos (éter de petróleo a 55 °C a 100 rpm durante 20 minutos). Las extracciones enzimáticas fueron mayores que con solventes; siendo con la enzima celulasa donde se obtuvo una mayor concentración de licopeno (55 mg/g de materia fresca) en la cáscara. Por lo que se considera que la obtención de licopeno por vía biotecnología representa una alternativa.

### Introducción

El tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas. El centro del origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género de algunas de esas zonas (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). Fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.*, 2001). El estado de Sinaloa y la parte sur del estado de Sonora producen grandes cantidades de tomate ya sea para el consumo directo o para la industria de alimentos, sin embargo del total de planta únicamente es aprovechado el fruto dejando una gran cantidad de residuos los cuales pueden ser utilizados para la obtención de productos con valor agregado.

Uno de los compuestos bioactivos de interés es el licopeno, una sustancia de color rojiza que no es soluble en agua, es un pigmento resistente al lavado, por lo que puede emplearse para teñir telas y dar color a los alimentos. En cuanto al área de salud, el licopeno representa un potencial antioxidante ya que bloquea la acción de los radicales libres, sustancias que dañan las células del organismo humano.

El licopeno ( $C_{40}H_{56}$ , 536,89 g/mol), pigmento carotenoides rojo más abundante en el tomate. Se trata de una estructura altamente insaturada, conteniendo 11 dobles enlaces conjugados y 2 sin conjugar (figura 1). Este hecho hace del compuesto una sustancia muy poco volátil y altamente inestable. La inestabilidad implica un alto grado de dificultad a la hora de manipular las muestras y llevar a cabo los procedimientos experimentales (Aranda-Alonso, 2012). Es por ello esencial, proporcionar métodos analíticos rápidos y fiables para la determinación cuantitativa del licopeno.

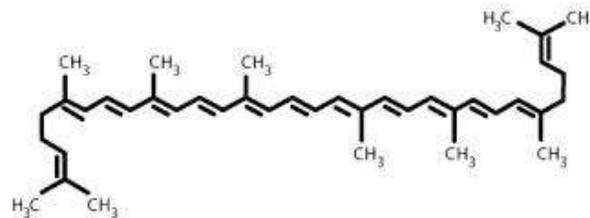


Figura 1. Estructura química de licopeno.

Algunos de los métodos para el análisis de carotenoides en productos alimentarios son la cromatografía líquida de alta resolución, espectrofotometría y colorimetría. Estos dos últimos métodos proporcionan una rápida evaluación del contenido en licopeno, pero es el HPLC el que permite una mayor versatilidad, selectividad, sensibilidad y fiabilidad para la determinación de este carotenoides. La técnica más empleada es HPLC en fase reversa con columnas  $C_{18}$  y  $C_{30}$ , proporcionando esta última mejor resolución para carotenoides de polaridad similar (como pueden ser el  $\beta$ -caroteno y el licopeno) (Aranda-Alonso, 2012).

El método ABTS se utiliza para medir la capacidad antioxidante de un material biológico, compuestos puros o extractos de plantas de naturaleza hidrofílica o lipofílica. Este método involucra la formación de un radical con color (ABTS), que contiene especies reactivas de oxígeno y nitrógeno; de esta manera la presencia del antioxidante conduce a la

desaparición de este radical colorido. Este radical es el más indicado para evaluar la capacidad antioxidante de compuestos coloridos, como es el caso de las antocianinas, por presentar una absorbancia máxima a la región infrarroja (754 nm), reduciendo así, las posibilidades de interferencias de compuestos coloridos que absorben en la región visible, o de compuestos resultantes de reacciones secundarias ( Marfil *et al.*, 2008).

La oxidación con persulfato potásico se lleva a cabo a temperatura ambiente, en la oscuridad, durante un tiempo comprendido entre 12 y 16 horas. El ABTS y el persulfato reaccionan estequiométricamente en una relación (1:0.5), por lo que el ABTS no es oxidado completamente. Una vez generado el radical, la medida se realiza como un ensayo de post-dición y se determina la disminución de la absorbancia debida a la reducción del radical (decoloración) (Marfil, 2008).

Actualmente, el empleo de enzimas en la extracción de compuestos en plantas es investigado. La extracción de compuestos bioactivos por vía enzimática consiste en aplicar enzimas que hidrolizan los tejidos y paredes celulares de las muestras vegetales, para que posteriormente se obtengan los compuestos de interés presentes en las células. Esta técnica se ha utilizado en la extracción de numerosas semillas y vegetales, aumentando el porcentaje de extracción de los compuestos de interés (Casas *et al.*, 2008).

En la extracción de licopeno, se han utilizado enzimas con actividad celulolítica, hemicelulolítica y pectinolítica obtenidas de cepas de hongos para degradar las moléculas de la pared celular en cáscara de tomate; además con la ayuda de solventes orgánicos se obtiene un aumento en el rendimiento de la extracción de licopeno del 68% en comparación con métodos en donde se emplea solo una fase acuosa y/o solventes (Lavecchia & Zuorro, 2008). Sin embargo, no se ha reportado el empleo de enzimas para incrementar los rendimientos de extracción de compuestos fenólicos a partir de tomate por lo que es importante la experimentación con enzimas pectinolíticas y celulolíticas que mejoren los rendimientos en la extracción.

### *Objetivo*

Obtener compuestos bioactivos a partir de sustratos vegetales no convencionales por vía biotecnológica

## **Metodología**

*Conservación de las muestras.* Las muestras se conservaron mediante dos procesos, uno por secado y por congelación estos se describen a continuación.

*Secado:* Se tomaron los tomates y se les realizó un corte en rodajas con un espesor de 0.4 a 0.5 centímetros, para posteriormente llevarlo a secar durante 20 horas a 40°C. El tomate seco se molió en una licuadora industrial de doble aspa para posteriormente tamizarlo con una malla número 20 y 10.

*Congelado:* Las muestras se congelaron a -4 °C y posteriormente fueron utilizadas.

*Extracción del licopeno del tomate.* Para la extracción de licopeno a partir de tomate fresco, los frutos maduros fueron molidos y la pulpa resultante fue filtrada al vacío por medio de un filtro Buchner. La pasta concentrada fue refrigerada y posteriormente, fue utilizada en la extracción de licopeno. También se realizó con la cáscara de tomate.

*Extracción con solventes.* La extracción se realizó utilizando 5 gramos de cáscara o pulpa de tomate fresco con éter de petróleo, durante 20 minutos a 55 °C y 100 rpm. Después se determinó la concentración de licopeno.

*Extracción enzimática.* Se extrajo licopeno a partir de 5 gramos de cáscara o pulpa de tomate fresco se le adicionó 1.5 mg/L de las enzimas pectinasa, celulasa y mezcla enzimática a temperatura de 55, 60 y 55 °C, respectivamente. Posteriormente la mezcla fue incubada durante 20 minutos, y el producto fue recuperado con 20 ml de éter de petróleo. Se probó con celulasa, de la cáscara de tomate y de la pulpa de tomate.

*Cuantificación de licopeno.* La cuantificación de licopeno se realizó con el método oficial de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990), que consiste en una extracción, una saponificación en caliente o en frío, una cromatografía en columna y la elución de carotenoides. Después se hizo la cuantificación por espectrofotometría, basado en que la densidad óptica de volúmenes y cantidades conocidas de carotenoides es leída a longitud de onda específica. El caroteno de la muestra es calculado y se expresa como  $\beta$ -

caroteno. Se elaboró una curva de calibración con licopeno comercial marca Sigma No. Cas 502-65-8, pureza >90%. Analizando absorbancias de 2 -10 ppm a una longitud de onda de 472 nm por triplicado.

### Resultados y discusión

Como se describió en el método, la extracción de licopeno se hizo mediante la aplicación de cuatro tratamientos, los cuales consistieron en la adición de enzimas comerciales tales como celulasa, pectinasa y mezcla enzimática, así como una extracción química por medio de solventes orgánicos.

En la figura 2 se observa la comparación entre los cuatro tratamientos empleados para la extracción de licopeno, donde se aprecia que el mejor resultado se obtuvo al emplear la enzima celulasa, seguido de la enzima pectinasa, mezcla enzimática y por último la extracción con solventes químicos. Los máximos rendimientos fueron de 55 mg de licopeno/g de materia fresca, lo cual representa un 80 % más en comparación con la extracción con solventes.

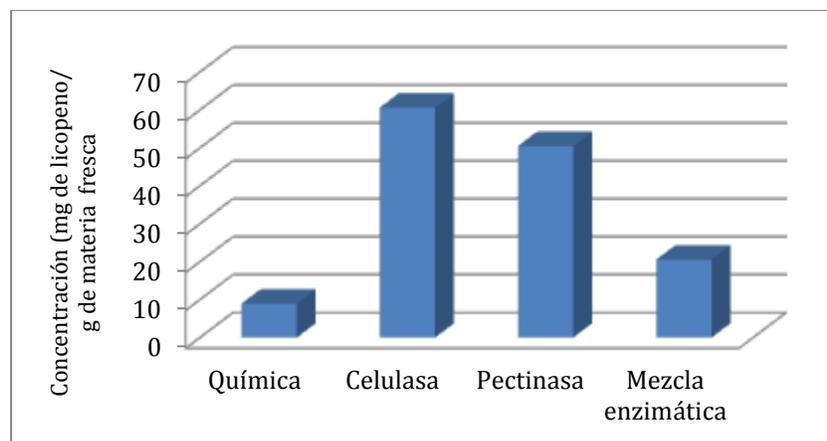


Figura 2. Extracción de licopeno a partir de la cáscara de tomate con solventes y diferentes enzimas.

Choudhari y Ananthanarayan (2007) reportan valores desde 40 a 100 mg licopeno/g de materia seca, similar a lo reportado por Rahul *et al.* (2013), esto indica que podrían obtenerse mejores rendimientos con la enzima pectinasa optimizando el proceso, ya que reportan a ésta como la más eficiente tanto en cáscara como en pulpa, la diferencia

obtenida, comprando con los resultados del presente estudio, puede atribuirse a la concentración de enzima empleada o a los tiempos de incubación.

Debido a que la mayor concentración de licopeno se obtuvo con la enzima celulasa, se realizaron las extracciones a partir de la cáscara y la pulpa de tomate. Los resultados se muestran en la Figura 3. Se observaron concentraciones de 26 a 68.42 mg de licopeno/ g de materia fresca con la enzima celulasa. Esta cantidad está dentro del rango reportado por Choudhari y Ananthanarayan (2007), quienes obtuvieron de 35 a 79 mg/ g materia seca, la humedad en las muestras es la razón de obtener menor concentración de licopeno con respecto a lo reportado por Choudhari y Ananthanarayan (2007). Por otro lado, Rahul *et al.* (2013) reportan concentraciones entre 62 y 80 mg licopeno/ 100 g de materia seca pero en desechos de tomate industrial (tomate waste) y empleando tiempos de incubación de 1 a 6 horas, obteniendo una concentración mayor de licopeno a las 4 horas de reacción.

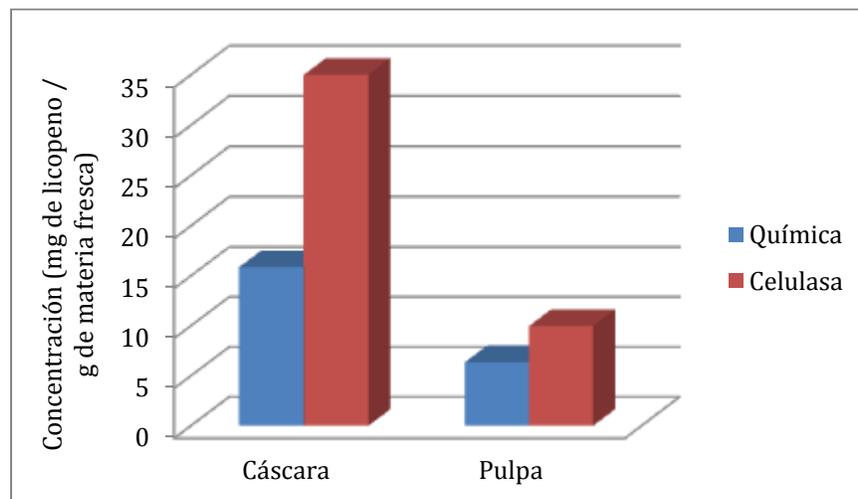


Figura 3. Extracción de licopeno utilizando la enzima celulasa en cáscara de tomate y pulpa de tomate.

Asimismo, se observó que en presencia de enzimas con actividad celulolítica, pectinolítica y de una mezcla de enzimas se tiene un aumento en la extracción de licopeno a partir de la cáscara de tomate en comparación con métodos en donde se emplea solamente solventes esto debido a la hidrólisis de los constituyentes de la pared celular del tomate (Zuorro *et al.* 2011).

### **Conclusiones**

Los resultados muestran que es posible obtener un compuesto bioactivo, como el licopeno, a partir de la cáscara de tomate lo que podrá ser una alternativa de aprovechamiento de este subproducto, sin embargo se tendrían que optimizar los tiempos de reacción para aumentar el rendimiento de extracción. Por lo que se considera que la obtención de licopeno por vía biotecnología representa una alternativa.

### **Referencias**

- Aranda-Alonso. (2012). Análisis cualitativo y cuantitativo de licopeno y ácido ascórbico en tomate y fresa, en presencia de microorganismos endófitos. ISBN 978-84-7993-898-7.
- Casas E., Faraldi M., Bildstein M. (2008). Manual de compuestos bioactivos a partir de residuos del procesado del tomate. Comisión Europea, Acción Específica de Apoyo (SSA), BIOACTIVE NET.
- Choudhari, S., & Ananthanarayan, L. (2007). Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues. *Food Chemistry*, 102:77-81.
- Lavecchia R, Zourro A. (2008). Improved lycopene extraction from tomato peels using cell-wall degrading enzyme. *Eur Food Res Technol*: 153-158
- Marfil R. 2008. Parámetros de calidad y componentes con interés industrial del aceite de aragán (*Arganiaspinosa*). Tesis Doctoral, Universidad de Granada.
- Rahul C, Samsher N., Akshya K. (2013). Effect of different parameters on enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Food and bioproducts processing*, 91:370-375.
- Zuorro A., Fidaleo M., Lavecchia R. (2011) Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. *Enzyme and Microbial Technology*, 49:567-573

**Capítulo XI. Inoculante biotecnológico para semillas y su efecto en la etapa inicial de algodónero (*Gossypum hirsutum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea maíz*) y trigo (*Triticum aestivum*): experiencias del cuerpo académico de Biotecnología Agrícola**

Maritza Arellano Gil, Catalina Mungarro Ibarra, Ofelda Peñuelas Rubio, Abel Alberto Verdugo Fuentes y Marco Antonio Gutiérrez Coronado  
Dirección de Recursos Naturales  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [maritza.arellano@itson.edu.mx](mailto:maritza.arellano@itson.edu.mx)

**Resumen**

La germinación es uno de los procesos clave en el desarrollo vegetal de los cultivos, desde el nacimiento de la agricultura como actividad comercial, se ha buscado favorecer el establecimiento de raíces sanas y vigorosas para la adecuada provisión de agua y nutrientes a la planta. Se ha utilizado savia de otras plantas, sales, cloro, estiércol, fungicidas e insecticidas y más recientemente con el afortunado advenimiento de la agricultura sustentable se busca la introducción de organismos benéficos y algunos fitoreguladores que favorezcan el establecimiento de la planta. El objetivo de este proyecto fue evaluar la aplicación de un consorcio de hongos y bacterias en el desarrollo inicial de cultivos de importancia económica en la región noroeste de México; se evaluaron tres dosis del inoculante comercial Tsemina® bajo condiciones de invernadero, utilizando suelo característico de la región Valle del Yaqui, Sonora (Franco arcilloso) y semillas comerciales de algodónero, frijol, maíz y trigo. Los tratamientos constaron de 0.25, 0.5 y 1 g de Tsemina® por cada 100 g de semilla, además de un testigo sin aplicación. Los resultados muestran que en maíz, trigo y frijol 1 y 0.5g de Tsemina® favorecieron estadísticamente altura y biomasa radical, área foliar y peso seco aéreo; en algodónero no se vio efecto de los tratamientos en las variables analizadas, excepto por una ligera tendencia al aplicar 1g en área foliar y en el número de microorganismos. Se recomienda la aplicación de 1 g de Tsemina® por 100 g de semillas de maíz, trigo y frijol.

**Introducción**

La agricultura es una actividad que se originó entre los años 10,000-8,000 aC, el hombre de la Edad de Piedra trataba a los cultivos de forma primitiva, no obstante, utilizaba la fertilidad natural de los suelos, para mejorar el crecimiento de las plantas cultivadas, por medio del aporte de ciertos materiales como estiércol, composta, abonos verdes, residuos tanto de vegetales como animales, además de lodos y cenizas. A medida que la población fue en aumento, la agricultura se tornó en una actividad comercial y con el advenimiento de la revolución verde se inició con la aplicación de fertilizantes y plaguicidas sintéticos, los cuales si bien han duplicado la producción de alimentos, su uso irracional dañó los

ecosistemas ha generado problemas ambientales y de salud muy importantes (Smith & Siliciano, 2015). La agricultura sustentable ofrece el potencial para satisfacer la necesidad de alimentos sanos y seguros sin el detrimento del medio ambiente; las poblaciones microbianas son el instrumento fundamental que permite la estabilidad y productividad de los agro ecosistemas (Singh *et al.*, 2011); el entendimiento de la interacción entre las comunidades de microorganismos del suelo y los cultivos es de vital importancia; se estudió el efecto de un inoculante para semillas a base de hongos y bacterias benéficas (*Azotobacter*, *Bacillus*, *Penicillium*, *Glomus*, Auxinas, Cinc y carbono orgánico) en el desarrollo inicial de algodonero (*Gossypium hirsutum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea maíz*) y trigo (*Triticum aestivum*), cultivos de importancia económica para la región Sur de Sonora.

### ***Fundamentación teórica***

El desarrollo de las plantas cultivadas inicia con la germinación, es un proceso de vital importancia ya que se establece la raíz, motor de abastecimiento de la planta; la mayoría de las plantas cultivadas están sujetas a diversas condiciones de estrés (hídrico, nutricional, plagas o enfermedades) durante este período, los microorganismos benéficos del suelo juegan un papel destacado con la provisión de fitorreguladores y el acondicionamiento del suelo para la óptima absorción de nutrientes.

El suelo es una mezcla compleja de minerales, materia orgánica (restos vegetales, macro y micro organismos), aire y agua; dichos elementos se encuentran en el suelo en tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Voroney & Heck, 2015). Los organismos vivos desde el punto de vista de las relaciones que tienen con las plantas se clasifican en saprófitos (digieren la materia orgánica del suelo para liberar los nutrientes minerales contenidos en ella en forma de compuestos inorgánicos para que éstos puedan ser absorbidos por las plantas), patógenos (causantes de enfermedades en la planta) y simbioses, los cuales establecen una asociación con la planta. Se denominan como “benéficos” ya que promueven el crecimiento de las plantas y fungen como agentes de control biológico, ya que reducen la actividad de bacterias y hongos patógenos en la rizósfera (Ortiz-Castro *et al.*, 2009); las raíces exudan sustancias orgánicas como carbohidratos (glucosa y fructosa), aminoácidos (leucina/isoleucina y  $\alpha$ -alanina) y vitaminas (biotina y tiamina), que

contribuyen al establecimiento de los microorganismos en esta área (rizósfera) (Balestrini *et al.*, 2015). Bacterias: Son organismos unicelulares de forma esférica, bastón o espiral que se caracterizan por ser los microorganismos más importantes y numerosos del suelo: en un gramo de suelo rizosférico se pueden hallar millones de rizobacterias. Desde el punto de vista agrícola, los géneros de bacterias *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Triobacillus*, *Lactobacillus* y *Rhizobium*, son considerados los microorganismos más importantes del suelo, pues degradan tanto compuestos orgánicos como inorgánicos además de llevar a cabo la fijación del nitrógeno (Killham1 & Prosser, 2015). Hongos: Son organismos unicelulares y pluricelulares que se encuentran en el suelo en menor cantidad que las bacterias y actinomicetos. Los géneros de hongos benéficos más destacados son *Glomus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma* (Taylor & Sinsabaugh, 2015). Los hongos micorrízicos, a través de sus hifas son capaces de transferir nutrientes de la rizósfera a las raíces (Richardson *et al.*, 2009). La biodiversidad del suelo está bajo serias amenazas: urbanización, cambio climático, contaminación y por supuesto la expansión de la producción de alimentos, fibra y biocombustibles; optimizar programas de manejo de la tierra respuesta al cambio climático obtener beneficios del suelo (De Vries *et al.*, 2013). Además de los microorganismos del suelo existe incalculable cantidad de sustancias que favorecen la germinación y establecimiento de las plantas, entre los fitorreguladores, el ácido indolacético (AIA) o auxina, es el más ampliamente conocido; el desarrollo óptimo de las plantas requiere un estricto control de la actividad del AIA, la cual incluye la biosíntesis, transporte, forma activa e inactiva y la adecuada recepción de su señal (Dharmasiri *et al.*, 2005).

### **Metodología**

*Establecimiento del experimento.* El estudio se estableció en Diciembre de 2013 y se finalizó en Febrero de 2014 en el Centro Experimental de Transferencia de Tecnología (CETT 910) del Instituto Tecnológico de Sonora, en el Valle del Yaqui. El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero con plantas de algodón, frijol, maíz y trigo. Se colocaron de 2 a 3 semillas de cada cultivo, en macetas de 1 L de capacidad

conteniendo suelo agrícola característico de la región (franco arcilloso). Después de la emergencia se seleccionó la planta más vigorosa y se eliminó el resto.

*Diseño experimental y tratamientos.* Bajo condiciones controladas se aplicó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento, en cada una de las especies bajo estudio. La unidad experimental fue una maceta con una planta. Se consideró a cada planta completa como muestra para las variables de desarrollo vegetativo y a la totalidad del suelo rizosférico extraído de tres plantas para análisis microbiológico. Se evaluaron cuatro dosis: 0, 0.25, 0.50 y 1 g de Tsemina® que corresponden a T1, T2, T3 y T4; Tsemina® es un inoculante biológico con base en Bacterias y hongos benéficos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido garantizado del inoculante biotecnológico Tsemina®.

Componente	Cantidad
<i>Azotobacter sp</i>	1x10 <sup>5</sup> UFC / g
<i>Bacillus sp</i>	1x10 <sup>6</sup> UFC / g
<i>Penicillium sp</i>	1x10 <sup>4</sup> UFC / g
<i>Glomus intraradices</i>	1x10 <sup>3</sup> UFC / g
Auxinas	400 ppm
Cinc (Zn)	2000 ppm
Carbono Orgánico Oxidable Total	33.0 %

La aplicación se llevó a cabo en pre siembra, por cada tratamiento, se colocaron 100 g de semilla y se adicionó el producto en polvo de manera directa manteniendo en agitación y asperjando agua con un atomizador, con un máximo de 1 ml por 100 g de semilla. Inmediatamente después de la impregnación se dejó secar el exceso de humedad en papel secante y se sembró en las macetas correspondientes. Los tratamientos se aplicaron únicamente al momento de la siembra, para ser concluidas las evaluaciones a los 45 días después de la siembra.

*Variables evaluadas.* Los parámetros para evaluar la efectividad biológica Tsemina® fueron: Altura de planta: se evaluó con cinta métrica desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento. Índice de clorofila: indirectamente con el SPAD 502 de Minolta en la hoja fisiológicamente madura en el horario de máxima actividad fotosintética (1100 a 1400 horas). Área foliar: se capturó una imagen digital de las hojas de cada unidad experimental y se procesó con el software ImageJ 4.0.2 (Schneider *et al.*, 2012) para medir

el área superficial. Peso seco: se seccionó la parte aérea y raíz de cada planta en cada tratamiento y se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas para secarlas en estufa a 60 °C hasta peso constante; posteriormente, se pesaron y se registró el peso seco aéreo, de raíz y total. Conteo de hongos y bacterias en suelo rizosférico: se colectó el suelo adherido a las raíces de cada planta y se obtuvieron 3 muestras compuestas de cada tratamiento para el análisis de perfil microbiológico con la técnica de conteo en placa. Se contabilizó: mesófilos aerobios, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos y bacterias solubilizadoras de fósforo y pseudomonas. Fitotoxicidad: se determinó desde la primera aplicación, hasta días después de la última, valorando tejido necrosado o indicios del mismo, en hojas, tallos, ramas y raíces, en una escala del 1 al 5, siendo 1 sin daño, 2 con daño inicial del 5%, 3 con daño aparente de más del 5 al 25%, 4 daño fuerte de más del 25 al 50% y 5 con plantas en inicio de senescencia, con daños por arriba del 50%. En cada parámetro de evaluación se obtuvieron valores numéricos correspondientes a la totalidad de unidades experimentales (10 por tratamiento); salvo en los análisis microbiológicos, en que se obtuvieron tres submuestras y de cada una de ellas los valores numéricos de diversas características. Se utilizó el software estadístico Statgraphics PLUS 4.0 para determinar los análisis de varianza y establecer las diferencias entre tratamientos. Para comparar las medias se empleó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) con un nivel de significancia de 5% representado en cada gráfica por letras minúsculas, donde los tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

### **Resultados y discusión**

*Altura.* A excepción de las plantas de algodón, en el resto de los cultivos se detectaron diferencias altamente ( $p \leq 0.01$ ) significativas (Figura 1a). En frijol, maíz y trigo sobresale el T4 (1g) con 23, 27 y 14% más altura que el testigo respectivamente. Consistente con los resultados obtenidos, (Kumar *et al.*, 2001) se reportan aumentos de hasta 13% en la altura de la planta inoculada con *Azotobacter* mas fertilización convencional. La inoculación con bacterias no simbióticas antes de la siembra como se reporta aquí, permite la fijación de nitrógeno atmosférico y se promueven los procesos fisiológicos asociados, tal como la altura de las plantas; entre ellas se encuentran: *Bacillus* y *Azotobacter*; ésta última inoculada en *Heliantus tuberosus* y *Gossypium hirsutum*, requirió

menos fertilización para su adecuado crecimiento en el tubérculo y promovió el crecimiento en las plántulas de algodónero (Hassan, 2013; Gajbhiye *et al.*, 2010 ). Las plantas evaluadas fueron cultivadas bajo condiciones controladas y libres del ataque de plagas y enfermedades, razón por la cual en algunos cultivos como algodón no hubo diferencias, entre tratamientos y testigo, sin embargo está comprobado que inocular micelio seco de *Penicillium chrysogenum* en plantas de algodónero, se induce resistencia ante el ataque de *Fusarium* (Dong & Cohen, 2002a).

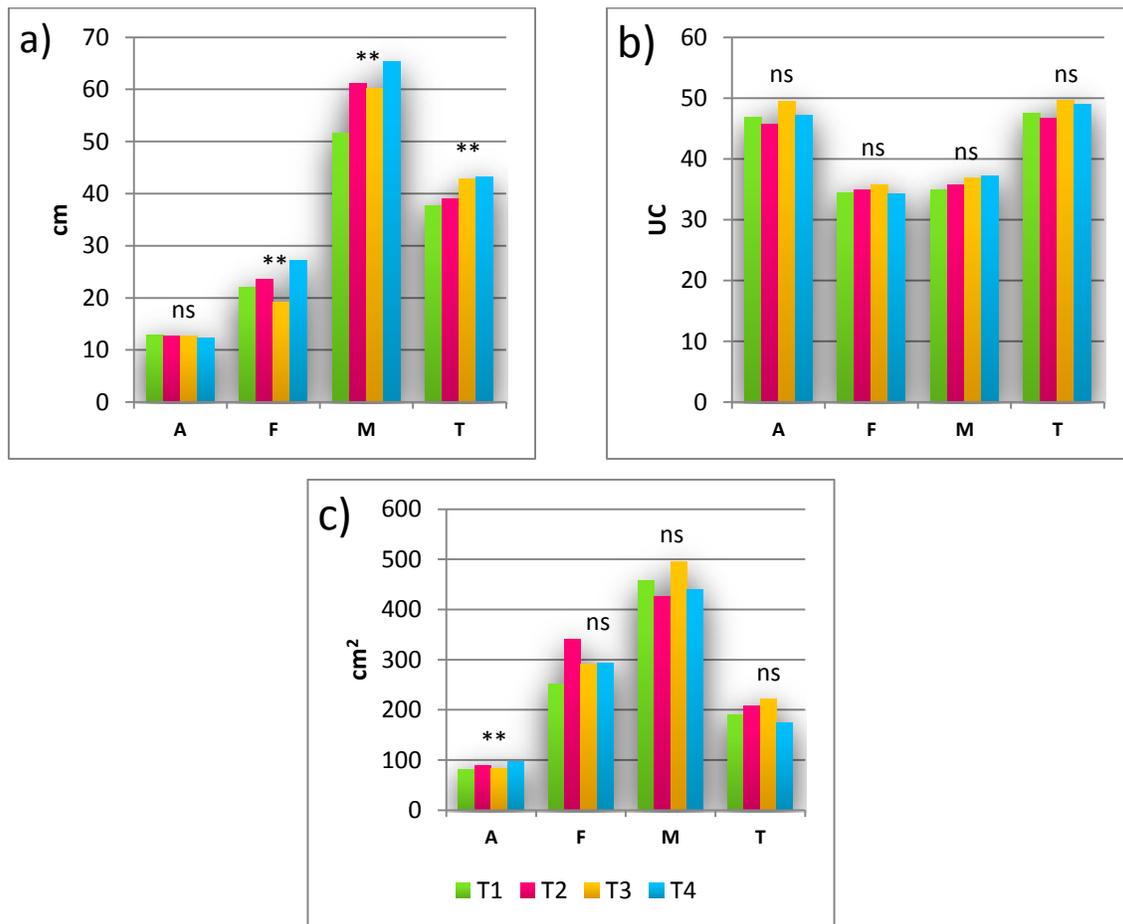


Figura 1. Altura (a), índice de clorofila (b) y área foliar (c) de A. algodónero, F. frijol, M. maíz y T. trigo, en respuesta a 0 (T1), 0.25 (T2), 0.50 (T3) y 1 (T4) g del inoculante biológico Tsemina®.

**Índice de clorofila.** La clorofila medida indirectamente con SPAD en las plantas de los cultivos evaluados no presentó diferencias significativas en ninguna de las fechas de medición y se detecta una pequeña tendencia (5-6%) hacia el tratamiento T3 (0.5g) sobre el testigo (Figura 1b). El T4 destaca solamente en maíz con 7% más (Figura 1b). Los valores

de referencia para maíz según González-Torres *et al.* (2009), definieron entre 30 y 40uc, como adecuados, tal como las plantas evaluadas en el presente estudio. Estudios realizados en plantas de trigo, maíz (Basak & Biswas, 2009) y algodón (Sheng, 2005), inoculadas con *Bacillus mucilaginosus* y *B. edaphicus*, consiguieron, al igual que el presente trabajo favorecer el metabolismo de N de las plantas, como efecto colateral de una adecuada toma de K, lo cual se traduce en plantas con niveles adecuados de clorofila en las hojas. Otro elemento relacionado con el color verde de las hojas es el hierro, su deficiencia es síntoma de clorosis, en frijol está documentada la eficiencia de *Bacillus megaterium* en la acidificación del suelo y reducción de enzimas quelato-férricas para solubilizar y mejorar la nutrición de hierro (Valencia-Cantero *et al.*, 2007).

*Área foliar.* Al contrario de la altura, el análisis de varianza para algodón fue el único que arrojó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Figura 1c), y destacan los T4 y T2 (1 y 0.25g) con 20 y 10% más área foliar respectivamente; resultados similares en algodón se encontraron con la aplicación de bajas concentraciones de AIA o auxinas (0.01 and 0.001 µg/ml) en algodón, Egamberdieva y col. (2015), afirman que se estimuló el crecimiento de la fase aérea y radical (30%), además de la disminución de la incidencia de *Fusarium solani* (43%). En frijol las plantas tratadas con las tres dosis superaron al testigo con 36% más el T2 (0.25g) y 16% los tratamientos 3 y 4 (0.5 y 1g); en maíz y trigo destaca el T3 (0.5 g) con 9 y 16% más área que el testigo (Figura 1c). Vosátkaa & Gryndlerb (1999), afirman que obtuvieron 22% más área foliar en plantas de maíz inoculadas con diversas especies de *Glomus*, en comparación con el testigo sin inocular. La inoculación de cepas de *Azotobacter* nativa y no nativas en trigo (Kızılkaya, 2008), asegura aumento en el rendimiento de grano y de paja, lo cual es consistente con los resultados de área foliar aquí mostrados; éstos son explicados por los mecanismos de fijación de nitrógeno, excreción de amonio, solubilización de fosfatos, sideróforos, provisión de fitorreguladores y sustancias antifúngicas asociados a *Azotobacter*.

*Peso seco.* La biomasa de la planta completa de algodón no fue significativamente diferente entre tratamientos y testigo (Figura 2a) a diferencia del resto de los cultivos evaluados, contrario a lo reportado por Dong & Cohen (2002b), quienes al inocular micelio seco de *Penicillium chrysogenum* en plantas de algodón, incrementaron el peso seco y fresco, además de inhibición de *Verticillium dahliae*; en frijol (Figura 2b) se midió entre 5 y 8% más biomasa en los tratamientos T2 y T4 (0.25 y 1g) en comparación

con el testigo; en plantas de maíz (Figura 2c) y trigo (Figura 2d), resalta el T3 (0.5g) con 4 y 7% más que el testigo. Resultados similares fueron reportados por Kumar y col. (2001), al mostrar 11% más biomasa en raíz de plantas de trigo inoculadas con cepas de *Azotobacter chorococcum* en comparación con testigo, en experimentos llevados a cabo *in vitro* y bajo condiciones de invernadero. La biomasa radical es indispensable para el adecuado soporte de la planta, pero también es la abastecedora de nutrientes y agua, por lo que su vitalidad está asociada al desarrollo general de la planta en el futuro. El fósforo es uno de los nutrientes indispensables para el adecuado desarrollo de raíces y es el más limitante en los cultivos agrícolas, las bacterias solubilizadoras de fósforo incluyen especies de los géneros: *Burkholderia*, *Herbaspirillum*, *Rhizobium* y *Sinorhizobium Bacillus* y *Pseudomonas*, (Qin *et al.*, 2011) éstas dos últimas utilizadas en el presente ensayo.

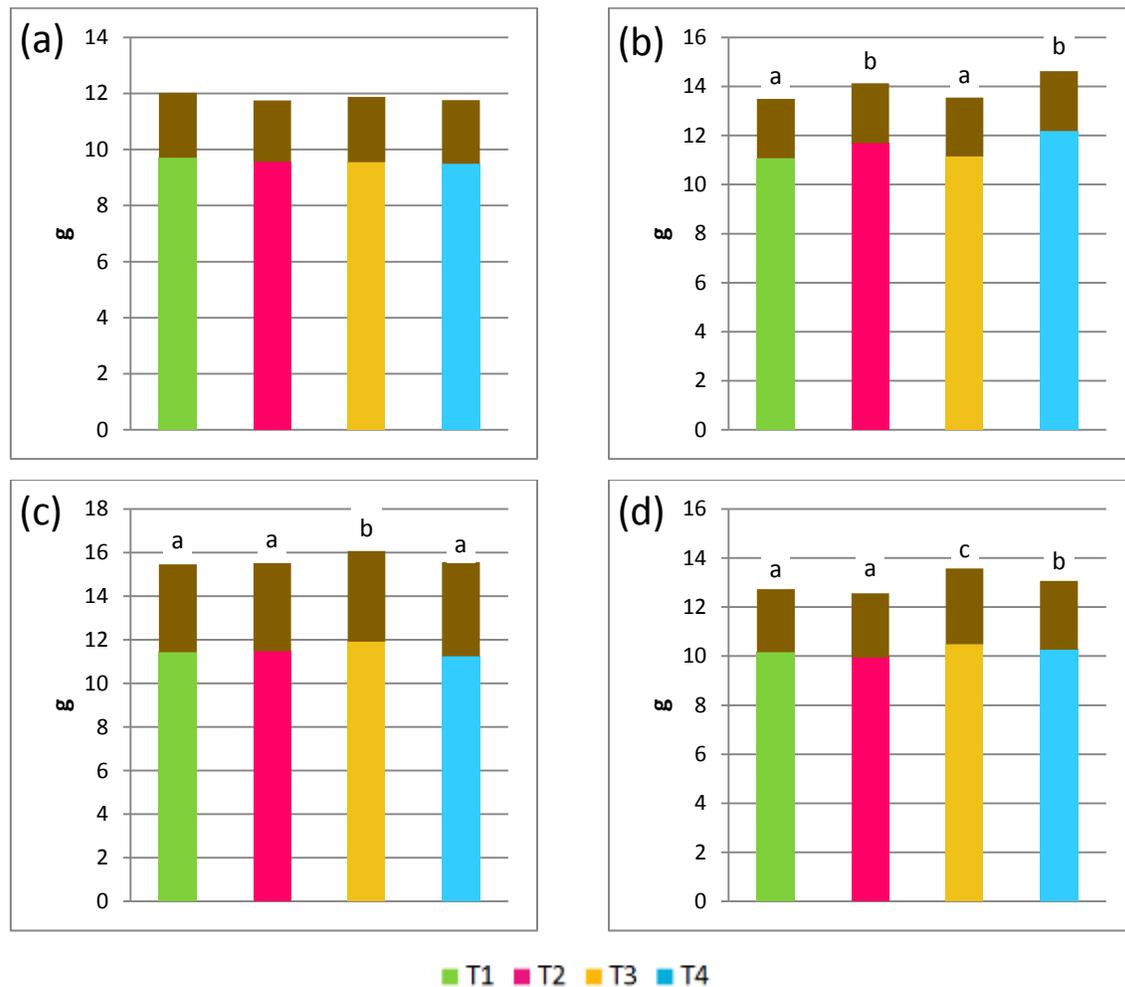


Figura 2. Peso seco total de algodónero (a), frijol (b), maíz (c) y trigo (d) en respuesta a diferentes dosis de aplicación del inoculante biológico. Se muestra en color café la biomasa correspondiente a la raíz, el resto de la barra en diferentes colores representa la parte aérea.

*Conteo de hongos y bacterias en suelo.* En la gran mayoría de los análisis microbiológicos realizados se presentaron diferencias significativas, las cuales posicionan a mayormente a los tratamientos aplicados por encima del testigo (Cuadro 2). El tipo de planta, la edad y el tipo de suelo tienen una gran influencia en la naturaleza y cantidad de microorganismos asociados a las raíces de las plantas.

Cuadro 2. Conteo de hongos y bacterias en el suelo rizosférico de las especies bajo estudio como respuesta a 0, 0.25, 0.50 y 1 g de Tsemina® por 100 g de semilla.

Tratamientos	Mesófilos aerobios	Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Hongos y Bacterias que solubilizan de Fósforo	<i>Pseudomonas</i>
----- UFC/g -----				
Algodonero				
T1	2.17E+06 b	2.80E+06 b	1.87E+06 b	3.10E+06 c
T2	3.97E+06 ab	4.03E+06 b	2.10E+06 b	4.37E+06 a
T3	2.17E+06 b	3.07E+06 b	8.00E+05 c	1.97E+06 b
T4	4.53E+06 a	6.33E+06 a	3.93E+06 a	5.07E+06 a
Frijol				
T1	5.83E+06 c	1.05E+07 b	4.03E+06 b	8.67E+06 a
T2	9.33E+06 b	1.04E+07 b	9.20E+06 a	9.53E+06 a
T3	8.30E+06 cb	8.63E+06 b	4.70E+06 b	1.18E+07 a
T4	1.33E+07 a	1.63E+07 a	9.67E+06 a	9.17E+06 a
Maíz				
T1	2.57E+06 b	4.00E+06 a	2.00E+05 c	2.03E+06 b
T2	5.07E+06 a	3.63E+06 a	7.67E+05 ab	2.80E+06 ab
T3	2.93E+06 b	3.00E+06 a	1.03E+06 a	3.37E+06 a
T4	2.70E+06 b	3.27E+06 a	6.33E+05 abc	3.53E+06 a
Trigo				
T1	4.20E+06 ab	1.90E+06 c	1.53E+06 b	2.13E+06 b
T2	5.50E+06 a	7.67E+06 a	5.47E+06 a	7.23E+06 a
T3	3.53E+06 ab	1.93E+06 c	1.17E+06 b	7.20E+06 a
T4	2.27E+06 b	4.03E+06 b	5.00E+05 c	2.50E+06 b

Distintas letras presentan diferencias significativas Test de LSD ( $P < 0.05$ ).

Los mesófilos aerobios en algodónero y frijol aumentaron considerablemente en el suelo de las plantas tratadas con T4 y T2 (1 y 0.25g) ya que superaron al testigo con más de 100 y 70 % respectivamente. En maíz y trigo fue el T2 (0.25g), que destacó con 97 y 31% más mesófilos que el testigo. En algodónero y maíz, la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno no se vieron muy afectadas por los tratamientos evaluados, solamente el T4 (1g)

fue mayor que el testigo con 55% en algodónero. En el cultivo de frijol resaltaron los tratamientos T2 y T4 (0.25 y 1g) con 44 y 126% más y en trigo una tendencia mucho más marcada con 304 y 112% por arriba del testigo respectivamente. Yu-Kui y colaboradores (2005), evaluaron los cambios en la población de bacterias en la rizósfera de un cultivo de algodón transgénico (Bt) a causa de la liberación de toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt) por la exudación de raíces, encontraron que efectivamente existen estas toxinas en la rizósfera del algodón Bt, en comparación con un no transgénico, sin embargo, no cambió significativamente las colonias de bacterias en el suelo.

Los hongos y bacterias que solubilizan fósforo en el suelo de todos los cultivos se vio favorecido grandemente; en general resaltan el T4 (0.5g) con 140, 414, 110% más en algodónero, maíz y frijol y el T2 (0.25g) con 128, 283 y 12% más que el testigo respectivamente y en trigo éste último fue 258% más alto que el testigo. La cantidad de *Pseudomonas*, también resultó favorecida por los tratamientos aplicados, con diferentes tendencias dependiendo del cultivo; en algodónero, los tratamientos T3 y T2 (0.5 y 0.25g) fueron 36 y 10% más altos que el testigo, mientras que en T2 y T4 (0.25 y 1g) fueron 41 y 64 % más altos que el testigo; en maíz T3 y T4 fueron superiores por 66 y 73% respectivamente en comparación con el testigo T1; finalmente en trigo T2 y T3 (0.25 y 0.5 g) tuvieron 239% más que el testigo.

Respecto a la biodiversidad, recientemente se han reportado en diferentes variedades de trigos  $1.54\text{--}26.59 \times 10^6$  de bacterias totales y  $0.43\text{--}4.12 \times 10^4$  UFC g<sup>-1</sup>, para hongos y coinciden con los aquí descritos.

*Fitotoxicidad.* Al evaluar las diferentes dosis de los tratamientos correspondientes en los cultivos evaluados no se observó fitotoxicidad con dichos tratamientos, esto debido a que las dosis aquí empleadas son consistentes con un manejo bioracional de productos agrícolas, aunque sean a base de microorganismos benéficos.

### **Conclusiones**

En maíz, el T4 (1g) tuvo excelentes resultados en altura y biomasa radical y el T3 (0.5g) en área foliar y peso seco aéreo, en general ambas dosis pueden ser recomendadas para este cultivo; en trigo al igual que en maíz, T4 (1g) pero especialmente T3 (0.5g) mostraron supremacía sobre el testigo en las variables evaluadas; en frijol T4 (1g) en altura

y peso seco, T2 (0.25g) en área foliar fueron los resultados más relevantes; en algodónero no se vio efecto de los tratamientos en las variables analizadas, excepto por una ligera tendencia hacia el T4 (1g) y T2 (0.25g) en área foliar y en el número de microorganismos. El índice de clorofila no fue influenciada por los tratamientos en ninguno de los cultivos. De manera general la mayoría de los cultivos respondieron satisfactoriamente a la inoculación de 1g 100K semilla de TSEMINA®, por lo que se recomienda su utilización en las dosis antes mencionadas. Una gran porción de los organismos en el suelo son capaces de generar beneficios a las plantas directa o indirectamente, en la medida en que se amplíe su uso estaremos disminuyendo la dependencia de sustancias sintéticas poco amigables con el ambiente.

### Referencias

- Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R. & Bianciotto, V. 2015. Plant-Soil Biota Interactions. En Paul E.A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fourth Edition). Academic Press, 15-39.
- Basak, B.B. and Biswas, D.R. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by Sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two alfisols. *Plant Soil* 317:235-255
- De Vries, F.T., Thébault, E., ... & Bardgett, R.D. 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *PNAS*, 110(35): 14296–14301.
- Dharmasiri, N., Dharmasiri, S. and Estelle, M. 2005. The F-box protein TIR1 is an auxin receptor. *Nature* 435:441-445.
- Dharmasiri, N., Dharmasiri, S., Dolf, W., Esther, L., Masashi, Y. 2005. Plant Development Is Regulated by a Family of Auxin Receptor F Box Proteins. *Developmental Cell*, 9(1): 109-119.
- Dong, H., & Cohen, Y. 2002a. Induced resistance in cotton seedlings against *Fusarium* wilt by dried biomass of *Penicillium chrysogenum* and its water extract. *Phytoparasitica* 30(1):77-87.
- Dong, H., & Cohen, Y. 2002b. Dry mycelium of *Penicillium chrysogenum* induces resistance against *Verticillium* wilt and enhances growth of cotton plants. *Phytoparasitica* 30(2):147-157.
- Egamberdievaa, D., Jabborovaa, D. & Hashemb, A.2015. Pseudomonas induces salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum*) and resistance to *Fusarium* root rot

- through the modulation of indole-3-acetic acid. *Saudi Journal of Biological Sciences*. In Press.
- Gajbhiye, A., A. R. Rai, S. U. Meshram & A. B. Dongre. 2010. Isolation, evaluation and characterization of *Bacillus subtilis* from cotton rhizospheric soil with biocontrol activity against *Fusarium oxysporum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 26(7):1187-1194
- González-Torres, A., Figueroa-Viramontes, U., Delgado, J., Núñez-Hernández, G., Cueto-Wong, J., Preciado-Rangel, P., Palomo-Gil, A. 2009. Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*. 27(4):303-309
- Hassan, S.H.T. 2013. Effect of biofertilization by using three *Azotobacter* isolates and two levels of mineral nitrogen fertilizer on Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) growth, yield and some chemical constituents. *J. Am. Sci.* 9:437-446.
- Killham1, K. & Prosser J.I. 2015. The Bacteria and Archaea. En Paul E.A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fourth Edition). Academic Press, 41-76.
- Kızılkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. *Ecological Engineering*, 33(2):150-156.
- Kumar, V., Behl, R., Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under greenhouse conditions. *Research in Microbiology*, 156: 87-93.
- Ortiz-Castro, R., Contreras-Cornejo, H.A., Macías-Rodríguez, L. and López-Bucio, J. (2009). The role of microbial signals in plant growth and development. *Plant Signal. Behav.* 4:1-12
- Qin, L., Jiang, H., Tian, J., Zhao, J. and Liao, H. 2011. Rhizobia enhance acquisition of phosphorus from different sources by soybean plants. *Plant Soil* 349:25-36.
- Richardson, A.E., Barea, J.M., McNeill, A.M. and Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321:305-339.
- Sheng, X.F. 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. *Soil Biol. Biochem.* 37:1918-1922.
- Singh, J.S, V.Ch. Pandey & D.P Singh. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140 (2011,) 339–353.

- Schneider, C.A., Rasband, W.S., & Eliceiri, K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9:671–675
- Smith, L.E.D., & Siciliano, G. 2015. A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. In Press.
- Sukumar, P., Legué, V., Vayssieres, A., Martin, F., Tuskan, G.A. and Kalluri, U. 2013. Involvement of auxin pathways in modulating root architecture during beneficial plant-microorganism interactions. *Plant Cell Environ.* 36:909-919
- Taylor, D.L. & Sinsabaugh, R.L. 2015. The Soil Fungi: Occurrence, Phylogeny, and Ecology. En Paul E.A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fourth Edition). Academic Press, 77-109.
- Valencia-Cantero, E., Hernández-Calderón, E., Velázquez-Becerra, C., López-Meza, J.E., Alfaro-Cuevas, R. and López-Bucio, J. 2007. Role of dissimilatory fermentative iron reducing bacteria in Fe uptake by common vean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in alkaline soil. *Plant Soil* 291:263-273.
- Voroney, R.P. & Heck, R.J. 2015. The soil habitat. En Paul E.A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (Fourth Edition). Academic Press, 15-39.
- Vosátkaa, M. & Gryndlerb, M. 1999. Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifies the development of *Glomus fistulosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. *Applied Soil Ecology*, 11(2–3):245–251.
- Yu-Kui R., Y. Guo-Xiang, Z. Jing, W. Bao-Min, L. Zhao-Hu, Z. Zhi-Xi, H. Zhong-Pei & L. Qing (2005). Changes of Bt toxin in the rhizosphere of transgenic Bt cotton and its influence on soil functional bacteria. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 21:1279–1284.

## Capítulo XII. Efecto del escalamiento del cultivo en *Tetraselmis suecica* cultivada con adición de Mg-Si-Sr

Ruth Gabriela Ulloa Mercado<sup>1</sup>, Pablo Gortáres Moroyoqui<sup>1</sup>, Ana María Rentería Mexía<sup>1</sup>,  
Edna Rosalba Meza Escalante<sup>2</sup>, Teineric Micheli Castro Urias<sup>1</sup> y  
Mariela Grageda Valenzuela<sup>1</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. [edna.meza@itson.edu.mx](mailto:edna.meza@itson.edu.mx)

### Resumen

Las microalgas son consideradas parte de los organismos más antiguos del planeta. Por su gran importancia y, debido a que representan una extraordinaria fuente de diversos compuestos bioactivos, son utilizadas para la producción de compuestos bioactivos con potencial de aplicación en productos farmacéuticos, alimentos y piensos, suplementos, cosméticos y otras tantas aplicaciones. El objetivo de este proyecto es evaluar el efecto del escalado en el cultivo de *Tetraselmis suecica* cultivada en medios enriquecidos con Mg-Sr y Mg-Si-Sr en sistemas de cultivo semicontinuo, evaluando su composición bioquímica. Los resultados muestran que el escalamiento, presentó un efecto negativo en la densidad celular, disminuyendo la densidad desde  $7.84 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup>, en reactores de 60 mL a  $3.235 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> y a  $2.915 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> en reactores de 6 L y 19 L, respectivamente. Los tratamientos Mg-Sr lograron la mayor densidad celular densida. La composición bioquímica al momento de llevar el cultivo de *T. suecica* de un volumen de 60 ml a 6L presento un efecto positivo en el escalamiento, pero al momento de llevar el cultivo de 6 a 19 L se presentó un efecto negativo en cuanto a contenido de proteínas y lípidos, no así para carbohidratos donde el efecto fue positivo. El tratamiento que presentó mejor contenido en composición bioquímica fue Mg-Si-Sr. En relación al contenido de polifenoles, el escalamiento no afectó, de igual manera no se vieron mejorados por la adición de elementos traza (Mg-Sr y Mg-Si-Sr), ya que presentaron menor contenido que el cultivo control.

### Introducción

Las algas son consideradas parte de los organismos más antiguos del planeta, se estima que existen de 40,000 a 100,000 especies, tanto eucariotas como procariotas. Estas se dividen en 15,800 especies de algas repartidas en 6000 algas rojas, 1800 pardas, y 8000 verdes, de las cuales 1000 son marinas y el resto de agua dulce. De todas estas especies conocidas apenas el 1% han sido estudiadas y no más de 6 especies han sido explotadas a gran escala (García *et al.* (2010).

En años recientes, se realizan los cultivos de microalgas para la obtención de biomasa con fines que permitan su uso como alimento en la acuicultura de criadero de especies marinas, en la producción de compuestos para sectores como la dietética y cosmética, la depuración de aguas residuales y en la elaboración de biocombustibles. Se sabe que se han realizado investigaciones en la fisiología aplicada, las cuales avalan un conocimiento actual en el cultivo masivo de microalgas, la idea de utilizar microalgas para la obtención de biocombustibles no es algo nuevo, ya que existen estudios de hace más de treinta años en los que ya se apuntaba en ese sentido (Cañavate, 2008).

En la actualidad, se ha ido mejorando la metodología o las formas de cultivo donde los resultados son prometedores Contreras *et al.* (2003).

En este contexto, el objetivo fue evaluar el efecto del escalado en el cultivo de *Tetraselmis suecica* cultivada en medios enriquecidos con Mg-Sr y Mg-Si-Sr en sistemas de cultivo semicontinuo.

### ***Fundamentación teórica***

Por su gran importancia y, debido a que las microalgas representan una extraordinaria fuente de diversos compuestos bioactivos, son utilizadas para la producción de compuestos bioactivos con aplicación en farmacéutica, alimentos y piensos, suplementos en cosméticos y otras tantas aplicaciones (Procházková *et al.*, 2013). Son innumerables las investigaciones que se han llevado a cabo con respecto a algunos factores que influyen en el crecimiento y composición bioquímica del cultivo de microalgas, entre los cuales se encuentra: iluminación, salinidad, concentración y tipo de nutrientes de medio de cultivo, volumen del reactor de cultivo, temperatura, además de la concentración celular del inóculo (Guerra, 2011). Todo esto con la indagación de nuevos esquemas que nos ayuden a encontrar el valor nutricional de las microalgas bajo la inspección de factores que puedan influir para su crecimiento Lemus *et al.* (2006).

Por su abundancia en la naturaleza, las microalgas pueden ser consideradas como una fuente de combustibles, por su alta tasa de crecimiento y su capacidad de producir lípidos, los cuales posteriormente pueden ser utilizados en la producción de biodiesel, por su alto contenido de aceites, mucho mayor que las plantas, y su capacidad fotosintética se dice que las microalgas son capaces de producir, almacenar y sintetizar una gran cantidad

de sustancias sin liberar residuos perjudiciales al medio ambiente. Son consideradas extremadamente resistentes y algunas ocasiones afectadas por las fluctuaciones en el medio que las rodea, también utilizan el dióxido de carbono para su crecimiento, por ende, ayudan en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero Hattab *et al.* (2014).

Los cultivos de microalgas se consolidan como una alternativa fácil de los sistemas tradicionales, en la búsqueda de mejores formas de manejo que ayuden a conocer el valor nutricional de las microalgas. Bajo condiciones inspeccionadas se estudiaron los diferentes factores y sistemas de cultivo, donde el sistema semicontinuo resultó el más adecuado debido a que la producción en ese sistema es continua (Fernández, 2009). Este sistema de cultivo proporciona un valioso y sencillo método para la manipulación de la composición bioquímica de las microalgas, variando la concentración de nutrientes, tasa de renovación y monitoreo constante de factores que influyen en el cultivo (Fábregas y Otero, 1999). El sistema semicontinuo es también considerado una herramienta óptima para ser utilizada en estudios fisiológicos y nutricionales como un modelo experimental para nuevas investigaciones en aplicaciones biotecnológicas a grandes escalas (Otero y Fábregas, 1997). Queda mucho por conocer en el desarrollo y optimización del crecimiento de microalgas, todo esto con el fin de obtener mayor producción y rendimiento en la obtención de biomasa y composición bioquímica, ya que son muy pocos los estudios que se tienen a escalas mayores y mucho los beneficios que se podrían tener al llevarlo a nivel industrial. Es por ello que se requiere trabajar el cultivo de microalgas a mayores volúmenes y en el diseño de nuevos biorreactores.

### **Metodología**

El medio de cultivo control utilizado es agua de mar con salinidad de 3.5 %. El agua se esterilizó a 15 lb/pulg<sup>2</sup> durante 20 min; una vez fría; se le agregó la solución estéril de nutrientes. En la tabla 1 se muestra la composición del medio control constituido por macronutrientes y micronutrientes.

Posteriormente adicionaron la solución de nutrientes a cada tratamiento, correspondientes al Control, Mg-Sr, Mg-Si-Sr. El magnesio ( $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ ) con una concentración 3mM, silicio ( $Na_2SiO_3 \cdot 5 H_2O$ ) a una concentración 3 mM y estroncio ( $SrCl_2 \cdot 6 H_2O$ ) 0.1 mM.

Tabla 1. Medio control Fábregas *et al.*, (1985).

Medio control
NaNO <sub>3</sub> (4 mmol•L <sup>-1</sup> )
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O (0.2 mmol•L <sup>-1</sup> )
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> )

Se inoculó la microalga marina *T. suecica*. Los reactores que se colocaron en un soporte con las lámparas de luz integradas (Philips TLD 36 W/54) que proporcionaban una intensidad luminosa de 220 μmol quanta•m<sup>-2</sup>•s<sup>-1</sup> (Fig. 1). 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 s de CO<sub>2</sub> cada 10 minutos para mantener el pH con valores entre 7 y 8. Se aplicó una tasa de renovación del 40% en régimen de ciclostato. Los cultivos se mantuvieron en un régimen semicontinuo.



Figura 1. Fotobiorreactores para el cultivo de microalgas; a) 60 mL, b) 6 L y c) 19 L.

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.

Las proteínas se determinaron por el método de Lowry modificado por Herbert *et al.* (1971). La determinación de carbohidratos por el método de carbonización, los lípidos se extrajeron por el método de Bligh and Dyer y la determinaron de acuerdo al método de Marsh y Weinstein (1966); y el contenido de polifenoles se determinó por el método de Folin- Ciocalteu establecido por Singleton y Rossi (1965).

### **Resultados y discusión**

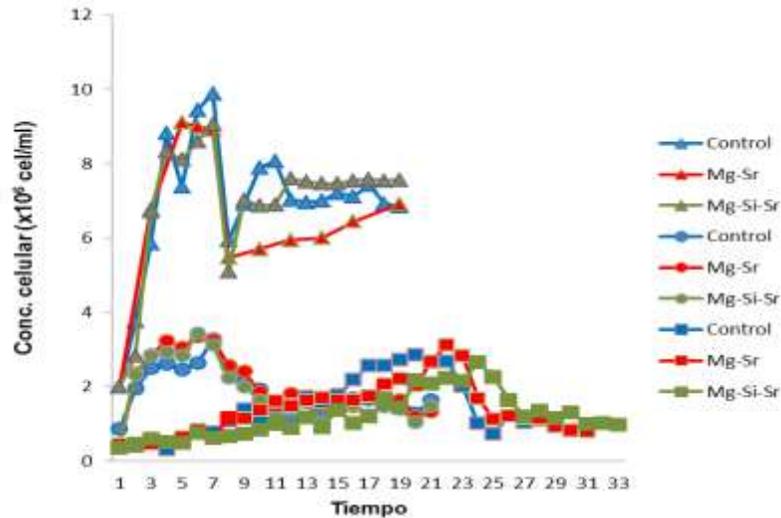
El objetivo de este proyecto es el escalamiento a nivel planta piloto en biorreactores de 60 mL, 6 L y 19 L y evaluar la influencia del medio de cultivo enriquecido con Mg-Sr y Mg-Si-Sr en cultivos de *T.suecica*, para evaluar el efecto que tendrá en los compuestos bioactivos, mediante la modificación del volumen del cultivo.

Se llevó a cabo el cultivo semicontinuo de *T.suecica* en reactores de 60 mL, 6 L y 19 L, con la adición de Mg (3 mM), Si (3 mM) y Sr (0.1 mM), ya que con estas combinaciones, en trabajos previos del grupo, dieron un buen resultado (datos no publicados). Una vez lograda la fase de estabilización del cultivo se procedió a la recuperación de biomasa para sus posteriores análisis.

### Densidad celular del cultivo de *T. suecica*

En el cultivo de la microalga de *T.suecica* en fotobiorreactores tipo tubular (60 ml) la fase estacionaria se logró a los 14 días obteniendo una densidad celular para cada fotobiorreactor con su tratamiento control  $7.84 \times 10^6$ , Mg-Sr  $6.62 \times 10^6$  y Mg-Si-Sr  $7.52 \times 10^6$ , con una tasa específica de crecimiento de  $0.36 \text{ día}^{-1}$  (Fig. 2). En el tipo columna de 6 L, la fase estacionaria se logró a los 10 días en todos los tratamientos, teniendo una densidad para cada fotobiorreactor en su tratamiento control  $1.545 \times 10^6$ , Mg-Sr  $1.365 \times 10^6$  y Mg-Si y Sr  $1.170 \times 10^6$  y con una tasa específica de crecimiento ( $\mu$ ) de  $0.3723 \text{ d}^{-1}$ ,  $0.6828 \text{ d}^{-1}$ ,  $0.6183 \text{ d}^{-1}$ , respectivamente. Mientras que el cultivo de *T.suecica* en los fotobiorreactores tipo botellón de 19 L, la fase estacionaria se alcanzó a partir del día 26, donde las densidades para cada tratamiento fueron de  $1.035 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ ,  $1.145 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ ,  $1.205 \times 10^6 \text{ cel mL}^{-1}$ , respectivamente. Presentando una tasa específica de crecimiento ( $\mu$ ) de  $0.1046 \text{ d}^{-1}$ ,  $0.0932 \text{ d}^{-1}$ ,  $0.0867 \text{ d}^{-1}$ , respectivamente.

La  $\mu$  y la densidad celular fueron afectadas negativamente por el escalamiento del cultivo de *T.suecica* decreciendo su valor conforme aumenta el volumen del cultivo, esto se puede observar en los datos anteriormente mencionados, obteniendo un comportamiento similar al reportado por Ulloa (2012) al llevar sus cultivo de 80 mL a 80 L, obteniendo una velocidad específica de crecimiento de  $2 \text{ día}^{-1}$  a  $0.285 \text{ día}^{-1}$  y de  $8.0 \times 10^6 \text{ cel} \cdot \text{mL}^{-1}$  a  $4.9 \times 10^6 \text{ cel} \cdot \text{mL}^{-1}$ , respectivamente. Basándose en información de Contreras *et al.* (2003), donde explican que la disponibilidad de luz determina la intensidad a la que se realiza la fotosíntesis y, como consecuencia, determina también la velocidad de crecimiento ( $\mu$ ) por lo cual se considera que esto pudo haber sucedió en los fotobiorreactores de 19 L donde su tasa de crecimiento fue menor, ya que el volumen del reactor era relativamente grande y no había una buena dispersión de luz, por lo cual se piensa que la iluminación pudo ser un factor para que la velocidad específica de crecimiento resultara lenta.



**Figura 2.** Cinética de crecimiento del cultivo de *T.suecica* en fotobiorreactores de 60 mL ( $\Delta$ ), 6 L (O), 19 L ( $\square$ )

### Composición bioquímica

La composición bioquímica en los cultivos de microalgas depende en gran parte de las condiciones del cultivo, entre los cuales se encuentran factores tales como la disponibilidad de nutrientes, temperatura, iluminación, aireación y agitación, salinidad, un adecuado suministro de CO<sub>2</sub> y diferentes sistemas de cultivo en las que se desarrollen como pueden ser abiertos o cerrados. Estos son de los factores más comunes que determinan la variabilidad en la composición bioquímica de las microalgas.

En la Figura 3 se muestra el contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos en la biomasa de *T. suecica* cultivada en reactores de diferentes volúmenes con adición de Mg-Sr y Mg-Si-Sr.

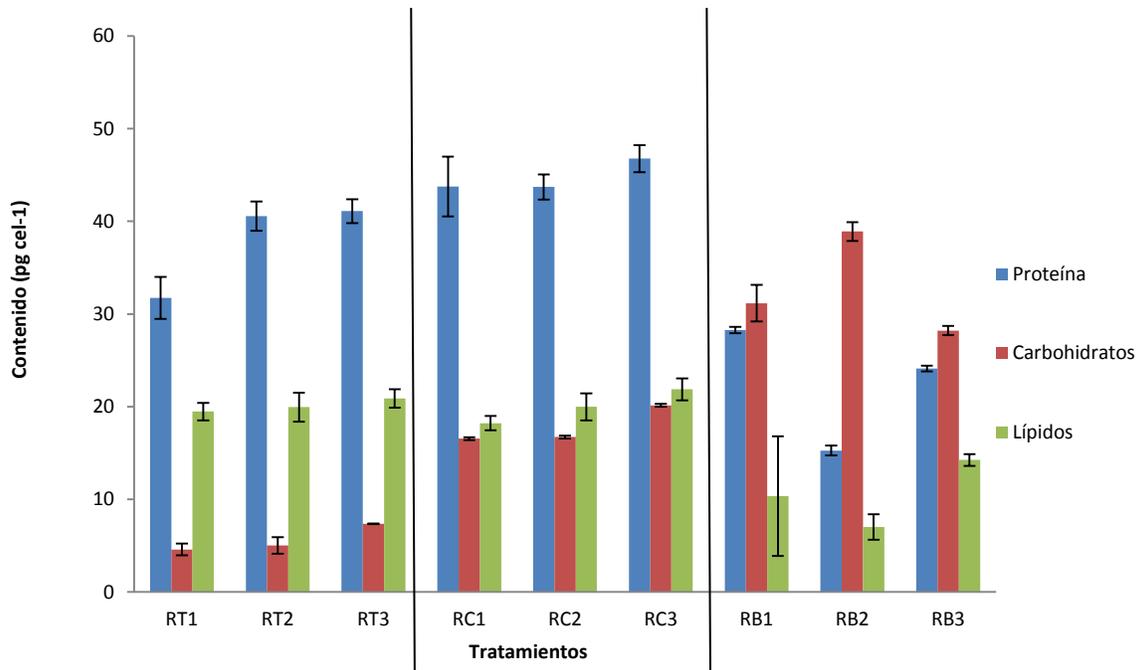


Figura 3 Contenido en composición bioquímica del cultivo semicontinuo de *T.suecica* en fotobiorreactores de 60 mL y 19 L. RT= Reactor tubular (60 mL); RC= Reactor columna (6 L); RB= Reactor botellón (19 L).

Se observa que para el contenido de proteína, los reactores de 60 mL y 6 L tuvieron una tendencia similar en todos los tratamientos. El mayor contenido de proteínas se obtuvo en el tratamiento RC3, con 46.77 (pg cel<sup>-1</sup>), observándose que éstos resultados son muy similares a los obtenidos en RT2 y RT3. Estos resultados son muy similares a estudios realizados por Fábregas (2001) donde el específica que el contenido en proteínas esta alrededor de un 42.13 pg/cel en *T.suecica*. Eso quiere decir que no se vieron afectados por el escalado. Sin embargo, se observa que el escalamiento del cultivo afectó negativamente el contenido de proteína de la biomasa de *T. suecica* cultivada en los fotobiorreactores tipo botellón de 19 L, donde la concentración de proteínas fue de 28.28, 15.27 y 24.12 (pg cel<sup>-1</sup>) para RB1, RB2 y RB3. Con lo que se demuestra que el contenido en proteínas es menor comparado con los fotobiorreactores de 60 mL y 6 L, es decir, le afecta negativamente. Esto pudo haber sucedido por la influencia de ciertos factores en la composición bioquímica de las microalgas tales, pH, intensidad luminosa, (Band, 1999).

Por otro lado, el contenido de carbohidratos si se vio afectado positivamente por el escalado, ya que conforme aumentaba el volumen (60 mL, 6 y 19 L) se incrementaba el contenido. Un estudio realizado recientemente por Choix (2014) nos muestra como la producción de carbohidratos en la microalga *Chorella spp* aumenta, lo cual se la atribuye a

la actividad metabólica de la fotosíntesis, y hablando de los tratamientos (Control, Mg-Sr y Mg-Si-Sr) que se le adicionaron a cada uno de los fotobiorreactores tanto el de tipo tubo (60 mL) como el de tipo columna (6 L) mostraron un comportamiento muy parecido, incrementando conforme cambiaba cada uno de los tratamientos y mostrando en ambos reactores un mayor contenido en el tratamiento Mg-Si-Sr, lo cual resultó similar con trabajos previos del grupo (datos no publicados aún). A diferencia del reactor tipo botellón en el cual el tratamiento que mostró mayor contenido de carbohidratos fue el de Mg-Sr similar a estudios realizados por Ulloa *et al.* (2012) donde especifican que en general, la composición bioquímica con la adición de magnesio y estroncio indujo un ligero incremento del porcentaje de proteína, lípidos y carbohidratos. En cuanto a contenido en el fotobiorreactor tipo columna (16.56, 16.72 y 20.15 pg cel<sup>-1</sup>) y el fotobiorreactor tipo botellón (31.17, 38.90 y 28.21 pg cel<sup>-1</sup>, respectivamente) en estudio realizado por Fábregas se obtuvieron resultado muy cercanos (23.75 pg cel<sup>-1</sup>, respectivamente).

En cuanto a lípidos se refiere, se puede decir que en los fotobiorreactores tipo tubo (60 mL) y tipo columna (6 L) no se vieron afectado significativamente por el escalado mostrando un contenido similar de lípidos en el volumen de 60 mL sus valores fueron: 19.47, 19.96 y 20.88 pg cel<sup>-1</sup> y para el volumen de 6 L fueron: 18.22, 19.99 y 21.88 pg cel<sup>-1</sup>. Estos resultado tienen una similitud con estudios llevados a cabo por Fábregas *et al.* (2001) donde el reportó un contenido de 21.66 pg cel<sup>-1</sup> en lípidos. Mientras que en los fotobiorreactores tipo botellón el contenido en lípidos disminuyó, lo que quiere decir que el volumen (19 L) al que se llevó ese fotobiorreactor afectó negativamente al contenido de lípidos.

Esto probablemente se debió a factores que influyeron de cierta forma en el cultivo por ejemplo la cantidad de la luz, el mezclado y la edad del cultivo Arias *et al.* (2003) dice que algunos de los factores que influyen en las condiciones del cultivo vienen siendo los factores abióticos tales como la concentración de nutrientes, la calidad y cantidad de luz, la temperatura, el O<sub>2</sub>, el CO<sub>2</sub>, el pH, la salinidad y factores operacionales como mezclado y la edad del cultivo.

### Contenido de polifenoles

Para llevar a cabo la determinación de polifenoles totales se utilizó el método Folin-Ciocalteu. Se lleva a cabo una reacción a pH básico mostrando una coloración azul susceptible de una determinación espectrofotométrica a 765 nm. Los resultados arrojados se expresaron en equivalente de ácido gálico (GAE, por sus siglas en inglés) Copia *et al.* (2012).

En la Figura 4 Se muestra el comportamiento de polifenoles totales, donde se puede observar que los tratamientos (control, Mg-Sr y Mg-Si-Sr), tanto para los fotobiorreactores columna (6 L) como para los de forobiorreactores tipo botellón (19 L), presentaron una tendencia similar, donde el mayor contenido de polifenoles totales se encuentra presente en el tratamiento control con 37.24 mg GAE/ kg BS y 35.74 mg GAE/ kg BS respectivamente, similar a un estudio reportado por Choochote *et al.* (2013), donde el contenido de polifenoles va desde 7.00 hasta 35.5 mg GAE. Seguido por el tratamiento Mg-Sr con un contenido de 23.87 mg GAE/ kg BS y 29.46 mg GAE/ kg BS, respectivamente. Donde el contenido de polifenoles totales no mostró ser favorecido por la adición de elementos traza (Mg-Sr y Mg-Si-Sr) ya que presentaron menor contenido que el cultivo control.

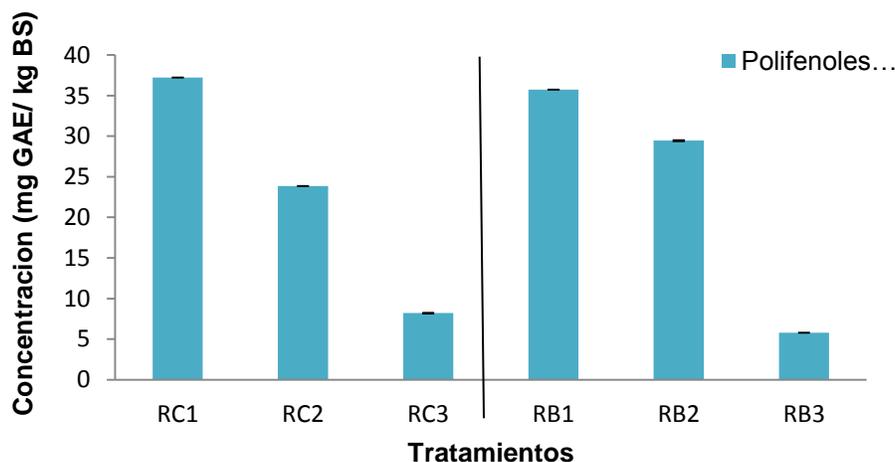


Figura 4. Contenido en polifenoles del cultivo semicontinuo de *T.suecica* en fotobiorreactores de 6 y 19 L.

### Conclusiones

Como en todo proceso biotecnológico, el escalamiento del proceso afecta tanto el rendimiento como la productividad del proceso. En este sentido, se concluye que el

escalamiento del cultivo de *T. suecica* adicionado con Mg-Si-Si afecta negativamente al rendimiento celular, el contenido de proteína y lípidos, así como de polifenoles. Los carbohidratos se acumulan conforme aumenta el volumen del cultivo, es decir, el escalamiento afecta positivamente su producción.

### Referencias

- Band Schmidt, C.J. (1999). Efecto de la composición bioquímica de microalgas sobre el valor nutritivo de dos cepas de artemia. Maestría en Ciencias Marinas Thesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México, 69 p
- Cañavate Hors José Pedro (2008). Una visión integrada sobre el cultivo de microalgas para la producción de biocombustibles. Editor: Centro Tecnológico del Mar - Fundación CETMAR, pp.193-205
- Choix Ley J. F. (2014). Evaluación de la acumulación de carbohidratos en la microalga *Chorella spp* asociada con la bacterias *Azospirillum brasilense*. (Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S. México.
- Choochote W., Suklampoo L., Ochaikul D. (2013). Evaluation of antioxidant capacities of green microalgae. *Journal of Applied Phycology* (26): 43-48
- Contreras F. C., Peña C. J. M., Flores C. L. B. y Cañizares V. R. O. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia* 18(8):450-456
- Copia J, Gaete H, Zúñiga G, Hidalgo M y Cabrera E. (2012). Efecto de la radiación ultravioleta B en la producción de polifenoles en la microalga marina *Chlorella sp*. *Latin American Journal of Aquatic Research* 40(1): 113-123
- 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 Environmental Microbiology* 62:266-268.
- Fábregas J. y Otero A. (1999). Modificación del valor nutritivo de las microalgas marinas en cultivos semicontinuos. In: Herrero C. & Abalde J. (Ed.), *Biotecnología y Aplicaciones de Microorganismos Pigmentados*. Servicio de Publicacións, Universidade Da Coruña. pp. 119-130.

- Fabregas J., Otero A., Dominguez A., Patiño M. (2001). Growth rate of the microalga *Tetraselmis suecica* changes the biochemical composition of *Artemia* species Mar. Biotechnol. (3): 256–263
- Fernández Seixas P. (2009). Composición bioquímica y crecimiento de para larvas de pulpo (*Octatus Vulgaris* Cuvier, 1797), alimentadas con juveniles de *Artemia* enriquecidos con microalgas y otros suplementos nutricionales. (Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela).
- García Vicente M.J., Durán Altisent J. M. (2010). Captura de CO<sub>2</sub> mediante algas unicelulares. Edit. Universidad Politécnica de Madrid. P.20-28.
- Guerra A. M. (2011). “Humus de lombriz *Eisenia foetida* para cultivar dos microalgas marinas como alimento de larvas de camarón. (Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Biología Marina con Mención en Acuicultura, Universidad de la Habana).
- Hattab M, Ghaly A (2014). Effects of Light Exposure and Nitrogen Source on the Production of Oil from Freshwater and Marine Water Microalgae. American Journal of Biochemistry and Biotechnology; 10(4):208-230.
- Herbert D, Phipps PJ, Strano RE (1971) Chemical analysis of microbial cells. In: Norris JR and Robbons DW (eds) Methods in microbiology. Academic Press, China, p. 209-234.
- Lemus N., Urbano T., Arredondo-Vega B., Guevara M., Vasquez, A., Carreón-Palau L, Vallejo N. (2006). Growth and biochemical profile of *Chaetoceros muelleri* cultured in batch and semicontinuous systems. Ciencias Marinas, 32 (3): 597–603.
- Marsh JB, Weinstein DB. (1966). Simple charring method for determination of lipids. *J Lipid Res* 7:574-576.
- Otero A, Fábregas J (1997) Changes in the nutrient composition of *Tetraselmis suecica* cultured semicontinuously with different nutrient concentrations and renewal rates. *Aquaculture* 159:111-123.
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144–158.
- Ulloa G, Otero A, Sánchez M, Sineiro J, Núñez MJ, Fábregas J (2012) Effect of Mg, Si and Sr on growth and antioxidant activity of the marine microalga *Tetraselmis suecica*. *Journal of Applied Phycology* 24(5):1229-1236.

## Resumen. Aclimatación del camarón blanco, *Litopenaeus vannamei*, con agua subterránea de pozo de baja salinidad

Rosita de Lourdes Nogales Acuña<sup>1</sup>, Ramón Casillas Hernández<sup>2</sup>, Diana Laura Mercado Cuen<sup>3</sup>,  
Beatriz Cecilia Sánchez Leyva<sup>1</sup> y Amada Zulé Rodríguez-Corral<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, <sup>2</sup>Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias  
Instituto Tecnológico de Sonora  
Ciudad Obregón, Sonora, México. [nogalesro@gmail.com](mailto:nogalesro@gmail.com)

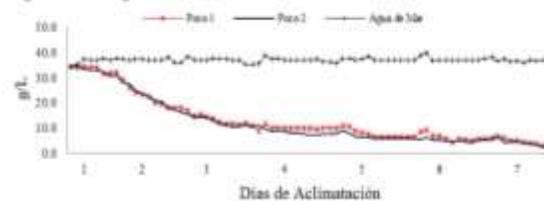
**Introducción.** El cultivo de camarón en agua marina enfrenta problemas relacionados con la presencia de enfermedades. Una alternativa creciente en muchas regiones del mundo es el cultivo tierra adentro empleando agua subterránea de pozos de baja salinidad, (Boyd *et al.*, 2002), sin embargo los principales desaffos que enfrenta este tipo de cultivo es la fuente de agua. Se ha demostrado que durante la etapa de aclimatación y engorde uno de los principales problemas es la alta mortalidad asociada a la composición iónica del agua (Atwood *et al.*, 2003), por lo que la calidad de la misma para la producción de camarón debe ser establecida como premisa para lograr el éxito deseado. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el proceso de aclimatación de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* utilizando dos tipos de agua de baja salinidad para determinar la sobrevivencia.

**Metodología.** El presente estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de acuicultura del Instituto Tecnológico de Sonora. Se evaluaron dos fuentes de agua, Agua de Pozo 1 (PZ1) y Pozo 2 (PZ2), provenientes de un campo agrícola-pecuario del Estado de Sonora. Se analizó la Conductividad eléctrica, salinidad, dureza total, calcio, magnesio, sodio, potasio, alcalinidad, cloruros y sulfatos de cada tipo de agua, con base a la normatividad mexicana. Se utilizaron postlarvas (PL-12,14). La duración del proceso de aclimatación fue de siete días. Las unidades experimentales fueron acuarios de 9 L, con una salinidad de 37 g/L, la densidad de siembra fue de 20 organismos por litro. En las unidades experimentales se redujo la salinidad gradualmente mediante un sistema de goteo, hasta alcanzar la salinidad del agua de los pozos, como control (MAR) se utilizó agua de mar de 37 g/L. Cada tratamiento se llevó a cabo por triplicado. Oxígeno, salinidad, temperatura y pH se midieron cada cuatro horas. Todas las larvas fueron alimentadas a saciedad cada dos horas con dieta comercial. Al final, se evaluó el porcentaje de sobrevivencia de cada tratamiento.

**Resultados y discusión.** En la Figura 1 se muestra la reducción gradual de salinidad de PZ1 y PZ2 (0.9 y 1.3 UPS, respectivamente). La presencia de más iones y cationes en el agua PZ2, se vio reflejada en una mejor tasa de supervivencia (88 %), mientras que el agua PZ1 obtuvo una sobrevivencia del 82 %. Huong *et al.* (2010), indican que la adaptación del camarón a su ambiente es por la regulación de la osmolaridad de la

hemolinfa y la concentración de iones y que debe tomarse en cuenta que el cambio de la salinidad afecta la fisiología del camarón, por lo que el cambio debe ser gradual, con lo cual se observará una mejor sobrevivencia. Miranda *et al.* (2010), obtuvieron sobrevivencias del 69 % en un cultivo de 94 días, en el cual realizaron un proceso de aclimatación de 58 h. En este estudio el periodo de aclimatación de siete días así como el descenso gradual de la salinidad favoreció a presentar una buena sobrevivencia en el agua del PZ2. La sobrevivencia del agua mar fue arriba de 90 % como se esperaba. La temperatura fue de  $27 \pm 0.09$  °C, el oxígeno disuelto se mantuvo dentro de los rangos óptimos para *L. vannamei* ( $3.66 \pm 0.13$  mg/L). El promedio de pH fue de  $8.1 \pm 0.1$ , encontrándose dentro del rango óptimo para el camarón blanco.

Figura 1. Comportamiento de la Salinidad durante la aclimatación.



**Conclusiones.** El agua de PZ2 resultó en una mejor sobrevivencia (88 %) durante el proceso de aclimatación con respecto de PZ1. El cultivo a baja salinidad, representa una alternativa viable para la producción de camarón blanco.

### Referencias.

- Atwood, H.L., Young, S.P. Tomaso, J.R., and Browdy, C.L. (2003). Survival and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity and mixed-salt environments. *Journal of the World Aquaculture Society*. 34: 518-523.
- Boyd C, T Thunjai & M Boonyaratpalin. (2002). Dissolved salts in water for inland low-salinity shrimp culture. *Global Aquaculture Advocate* 5 (3): 40 - 45.
- Huong, D.T.T., Jasmani, S., Vidya, J., Wilder, M. (2010). Na/K-ATPase activity and osmo-ionic regulation in adult whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to low salinities. *Aquaculture*, 304: 88-94.
- Miranda, I., Valles, JS., Sanchez, R y Alvarez, Z. (2010). Cultivo del camarón marino *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931). *Revista Científica SCV-LUZ*, 20: 339-346.

“*Investigación Universitaria. Avances y Resultados*” se terminó de editar en diciembre de 2015 en el Instituto Tecnológico de Sonora, en Ciudad Obregón Sonora, México.

El tiraje fue de 300 ejemplares impresos más sobrantes para reposición y puesto en línea en la página: [www.itson.mx/publicaciones](http://www.itson.mx/publicaciones)



**ITSON**  
Educar para  
Trascender