



Academia Jalisciense
de Ciencias, A.C.

Ciencia y tecnología para el desarrollo de Jalisco

*Silvana Guadalupe Navarro Jiménez
(coordinadora)*



Dr. Gildardo Sánchez Ante (ITESM)
Presidente

Dra. Silvana Navarro (UDG)
Vicepresidente

Dra. Rocío Calderón (UDG-UNIVA)
Secretaria

Dr. Pedro F. Zárate del Valle (UDG)
Tesorero

Dr. Efrén Aguilar Garnica (UAG)
Primer Vocal

ISBN: 978-607-9673-81-9

Editorial Página Seis, S.A. de C.V.
Morelos 1742, Col. Americana, CP 44160
Guadalajara, Jalisco, México
Tel: (33)3657-3786 y 3657-5045
www.pagina6.com.mx
p6@pagina6.com.mx

Tipografía, diagramación y diseño editorial:
Arlequín Editorial y Servicios, S.A. de C.V.
Cuidado del texto: Javier Bella

Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos correspondientes.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Índice

Efectos de la aclimatación de postlarvas de <i>Litopenaeus vannamei</i> a baja salinidad, evaluados mediante pruebas de estrés <i>Juan Carlos Aranda Méndez, José Luis Zavala Aguirre</i>	6
Detección inteligente de microcalcificaciones en mamografías basada en técnicas difusas <i>Ramón Osvaldo Guardado Medina, Rubén Ruelas Lepe</i> <i>Benjamín Ojeda Magaña</i>	29
Negociación y consenso en políticas de desarrollo municipal <i>Jorge Armando González Galván</i>	46
Consumos mediáticos de la ciencia entre estudiantes <i>Silvia Domínguez Gutiérrez</i>	70
Multidisciplinary Design. Flat panels made of gypsum plaster and enriched with materials from the waste flow <i>Francisco Javier González Madariaga, Luis Alberto Rosa Sierra</i>	84
Perfil inflamatorio y sobreexpresión de TLR4-CD14 en sujetos obesos mestizos del occidente de México <i>César O. de Loera-Rodríguez, Vidal Delgado-Rizo, Anabell Alvarado-Navarro,</i> <i>Jorge E. Segura-Ortega, Mary Fafutis-Morris</i>	109

Cambio climático desde la visión de una comunidad productora de leche en la región de los altos norte del estado de Jalisco <i>Xochitl Barbosa Carmona y S. Lizette Ramos De Robles</i>	125
Use of artificial intelligence paradigm to model ERP system selection process based on results of empirical studies applied in Guadalajara, Mexico <i>Augusto Alberto Pacheco-Comer y Juan Carlos González-Castolo</i>	137
Digestibilidad y ganancia de peso de borregos Pelibuey alimentados con bagazo de agave Tequilana tratado con álcali <i>F. J. Paredes-Ibarra, J. R. Orozco-Hernández, H. Verdín-Sánchez, V. O. Fuentes Hernández, Montañez-Valdez O.D. y E. Alvarado-Loza</i>	165
Respuesta del fémur <i>Coturnix coturnix japonica</i> en desarrollo a la adición de ácidos orgánicos <i>J. R. Orozco-Hernández, I. J. Ruíz-García, R. C. García de la Peña, D. Ávila Figueroa, E. Alvarado-Loza, F. Lizarraga-Díaz y M. Valadez-Galván</i>	172
Cantidad de bacterias coliformes fecales como respuesta a la inulina de agave Tequilana en el alimento del conejo <i>E. Alvarado Loza, J. R. Orozco Hernández, I. J. Ruíz García, V.O. Fuentes Hernández y F. J. Paredes Ibarra</i>	179
Disminución de la resistencia al cisplatino por pentoxifilina en células de cáncer de cérvix <i>Liliana del Rocío Martínez Vázquez</i>	186
Caracterización de películas comestibles enriquecidas con extracto de semillas de cítricas <i>M.E. Toribio Nava e Y. Estrada Girón</i>	200

Evaluación paleolimnológica del lago de Chapala (occidente de México) durante los últimos 10 000 años. Exposición preliminar

*Pedro F Zárate del Valle, Mark Brenner, Ulises Ramírez-Sánchez,
Jaime Urrutia Fucugauchi, Sergio Gómez-Salazar, Israel Ceja Andrade
y Roy Priyadarsi Debajyoti*

226

Efectos de la aclimatación de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* a baja salinidad, evaluados mediante pruebas de estrés

JUAN CARLOS ARANDA MÉNDEZ¹

JOSÉ LUIS ZAVALA AGUIRRE²

Resumen

La producción de camarón en México es una importante actividad generadora de alimentos y divisas. Una alternativa para combatir la mortalidad de los camarones causada por enfermedades virales es su aislamiento, sometiéndolos a una aclimatación previa, mediante el cultivo del organismo en agua dulce. El objetivo del presente trabajo fue evaluar diferentes velocidades de aclimatación a baja salinidad (iniciando en 30 g/l⁻¹ y terminando en 1 g/l⁻¹) en un sistema continuo y abierto de intercambio de agua con duración de 2, 4 o 6 días. Se evaluó tanto la supervivencia al proceso de aclimatación como la resistencia de los organismos mediante pruebas de estrés en agua destilada. El grupo que presentó la mayor supervivencia (78 %) en la primera etapa fue el de 4 días de aclimatación. Las pruebas de estrés apuntaron al grupo con 6 días de aclimatación como los organismos más resistentes ($p < 0.05$). Se propone el proceso de 4 días de aclimatación continua como el más adecuado para sistemas comerciales.

Introducción

En México el cultivo de camarón es la principal actividad productiva acuícola. En 2007 se produjeron 196 000 toneladas (t) de camarón entero de las cuales 66 % proviene de la acuicultura y el restante 34 % corresponde a captura en altamar y bahías, generando 359 millones de dólares en divisas y 8 278 millones de pesos en valor a nivel de productor primario y promoviendo 225 000 empleos (CONAPESCA, 2010). Los años récord de producción de camarón fueron 2007 y 2008. Los últimos

[1] Pasante, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara.

[2] Profesor investigador, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara.

registros y estimaciones de la camaronicultura muestran que México es el segundo productor de Latinoamérica después de Ecuador y también muestran un incremento sostenido en la producción a partir de 2010 (aproximadamente 100 000 t) con una proyección al 2013 de 120 000 t (Valderrama y Anderson, 2011).

Se ha reportado que los camarones cultivados en agua salada son susceptibles a una variedad de enfermedades virales que provienen del agua marina que se bombea hacia los estanques (González-Félix *et al.*, 2007), lo que ha generado considerables pérdidas debido a la mortalidad de grandes poblaciones de cultivo. Una demanda muy importante por el sector camarónico, tanto a nivel nacional como internacional, es la búsqueda de alternativas tendientes a superar este problema. La reducción del riesgo por exposición a los virus se podría conseguir por varios métodos pero una alternativa que está siendo empleada es el uso de agua con baja concentración de salinidad (Fegan, 1992). En muchos lugares (Samocha *et al.*, 2002) han estado trabajando con la aclimatación de postlarvas (PL) de camarón a baja salinidad de una manera empírica y poco se ha publicado al respecto en la bibliografía científica (Esparza-Leal *et al.*, 2009).

La investigación relacionada a metodologías de aclimatación a baja salinidad, además de solventar el problema de falta de documentación, ofrecería alternativas de producción orientadas a la mayor supervivencia de camarones en etapas de engorda con fines comerciales. En la presente investigación se trabajó con postlarvas de camarón blanco del pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone), debido a que es la especie que se cultiva de manera prioritaria en México.

El objetivo consistió en evaluar diferentes velocidades de aclimatación a baja salinidad en postlarvas de camarón (*L. vannamei*), mediante el análisis de su supervivencia y posterior análisis de la mortalidad inducida mediante pruebas de estrés osmótico como indicador de la condición general de los organismos. Los objetivos específicos fueron: 1) Evaluar tres velocidades de aclimatación a baja salinidad (iniciando con valores de 30 g/l⁻¹ y terminando con valores de 1 g/l⁻¹) identificadas como grupos de 2, 4 y 6 días de aclimatación; 2) evaluar al término del proceso de aclimatación la condición general de los animales mediante pruebas de estrés osmótico, exponiendo a cada grupo a agua destilada (0 g/l⁻¹) y registrando el tiempo que tardan en morir. Se espera que la resistencia de las postlarvas de *L. vannamei* durante las pruebas de estrés será mejor en los grupos con mayor tiempo de aclimatación.

Antecedentes

Recientemente, se han reportado esfuerzos para cultivar camarón blanco en agua a baja salinidad ($<5 \text{ g/l}^{-1}$) y nulo recambio (Esparza-Leal *et al.*, 2009). En lo referente a acuicultura continental, se considera ventajoso el uso de agua de pozo ligeramente salina para la producción de esta especie. Comparado con la acuicultura costera, esta modalidad reduce los costos asociados al bombeo de agua y, al mismo tiempo, minimiza la introducción de patógenos a las unidades de producción (González-Félix *et al.*, 2007).

Acuicultores que utilizaron agua de pozo a baja salinidad (5 g/l^{-1} o inferiores) obtuvieron altas tasas de supervivencia cuando las postlarvas de camarón se aclimataron antes de ser transferidas a estanques de engorda (Samocha *et al.*, 2002). El éxito en la aclimatación de postlarvas de camarón blanco está relacionado con la edad (Laramore *et al.*, 2001; McGraw *et al.*, 2002), la composición iónica del agua (Davis *et al.*, 2002) y la genética (Chim *et al.*, 2003). Se ha observado que la supervivencia de camarones aclimatados a baja salinidad es mayor cuando los periodos de aclimatación son incrementados de 48 a 72 h o cuando un periodo de habituación de 2 días se proporciona después de 48 h de aclimatación (McGraw y Scarpa, 2004).

Sin embargo, se han registrado mortalidades agudas cuando el camarón es rápidamente transferido a soluciones con diferente composición iónica, incluso si las salinidades de las dos soluciones son similares (McGraw y Scarpa 2004), quedando evidente una sensibilidad específica a la composición. La composición iónica del agua es un factor importante e influyente en los procesos metabólicos de los animales en cultivo (Spotte, 1979); bajas concentraciones de los iones Na, K, Ca y Mg en el agua de baja salinidad disminuyen la supervivencia del camarón *L. vannamei* en contraste con altas concentraciones de estos iones (McGraw y Scarpa 2002). Cuando el camarón es sometido a una reducción de más de 50 % de la salinidad dentro de un periodo de 8 horas, las postlarvas son incapaces de mantener su equilibrio osmótico y mueren dentro de 24 h (McGraw y Scarpa 2004, citado por Esparza-Leal *et al.*, 2009).

Para la evaluación de la calidad de las postlarvas, además de los criterios de resistencia a estrés osmótico, se emplean indicadores visuales del estado de desarrollo entre los que destacan el nivel de ramificación de las branquias (Durán *et al.*, 1991).

Main y Wyk (1999) señalan que las postlarvas pueden ser aclimatadas al agua dulce una vez que alcancen la etapa de PL-12 a PL-14 (la nomenclatura de PL-1, PL-2, etcétera, se refiere a los *instar* por los que transcurre la postlarva a partir del último estadio larvario de *mysis* y en forma práctica se maneja la equivalencia de un nuevo *instar* por cada nuevo día, de tal forma que organismos entre PL-12 a PL-14 se refiere a organismos con 12 a 14 días después del último estadio larvario); en esta etapa, las branquias están más desarrolladas y los organismos pueden soportar el estrés osmótico (Scarpa, 1998). Main y Wyk (1999) mencionan que el desarrollo branquial debe ser verificado antes de aclimatar las postlarvas a salinidades inferiores a 15 g/l⁻¹. La capacidad osmoreguladora de las postlarvas de camarón se relaciona con la cantidad de superficie branquial. Antes de PL-10, las branquias están muy poco ramificadas y los organismos no toleran bajas salinidades. La ramificación es, por lo general, bastante evidente después de PL-10. En PL-12, los camarones suelen presentar extensa ramificación de los filamentos branquiales y pueden ser fácilmente aclimatados al agua dulce.

Existe una correlación directa entre la supervivencia en las pruebas de aclimatación con el desempeño durante la engorda (Fegan, 1992), lo que justifica la inclusión de este indicador dentro de los criterios de calidad para estadios tempranos de este crustáceo.

El presente estudio fue diseñado para evaluar la condición general de las PL de camarón blanco aclimatadas a baja salinidad en modo continuo en diferentes tiempos (2, 4 y 6 días) mediante la cuantificación de la supervivencia en pruebas de estrés.

Materiales y métodos

El presente proyecto está registrado en la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guadalajara bajo el número Te-3-021-046-09-005 y se realizó en el laboratorio 210 del Instituto de Ciencias Exactas y Terrestres (ICET) de la misma institución.

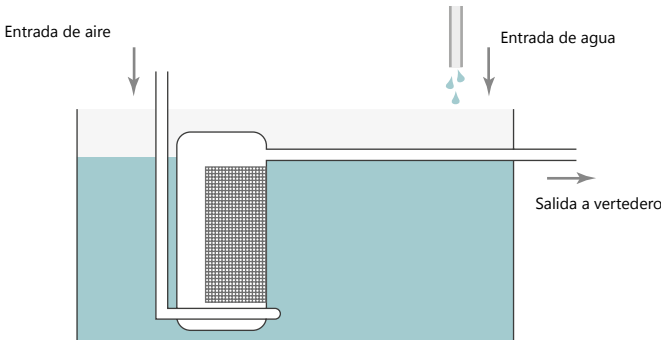
Procedencia de los organismos y aclimatación a condiciones de laboratorio

Las postlarvas (PL-10) del camarón de *L. vannamei*, fueron conseguidas de la empresa Acuacultivos, localizada en Tecomán, Colima. Los organismos fueron enviados por paquetería. Al momento de su recepción se registraron parámetros de

salinidad (salinómetro Aquafauna Bio-marine[®]) y temperatura (termómetro de mercurio de inmersión Brannan[®]), y se procedió a la aclimatación a condiciones de laboratorio de la siguiente manera: con anticipación al arribo de los organismos, se prepararon 150 l de agua de mar artificial a 30 g/l⁻¹ (Instant Ocean[®]), la cual se mantuvo con aireación para conseguir niveles de saturación de oxígeno y temperatura ambiente. Los organismos fueron desempacados y vaciados para una primera etapa de aclimatación de un día mezclándose el agua de origen con el agua artificial; lo anterior se hizo en un tanque de fibra de vidrio de forma ovalada de 200 litros de capacidad acondicionado con sustrato de arena como filtro mecánico-biológico activado por recirculación con sistema *airlift* (Aranda-Méndez *et al.*, 2010). En esta etapa, los organismos fueron cuantificados, pesados y alimentados (dieta comercial El Pedregal Silver Cup tipo iniciación con 52 % de proteína) a una ración de 20 % de su biomasa, dividida en tres momentos distribuidos durante el día.

A continuación se procedió a la aclimatación al agua marina 100 % artificial en una pecera de recepción (figura 1) en la que se depositaron aproximadamente 4000 PL, ajustando un flujo continuo (1.25 l/h) equivalente a 24 h como tiempo de residencia. Durante el proceso de aclimatación al agua artificial se proporcionó aireación. Se alimentaron con la misma dieta, a razón de 20 % de la biomasa al día.

Figura 1. Pecera acondicionada con filtro y vertedero para salida a drenaje



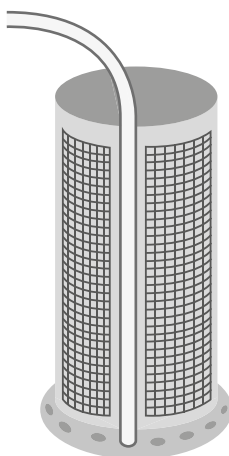
La estimación de la biomasa se realizó mediante 10 muestras de 100 ml de la pecera de recepción debidamente homogeneizada con aireación. De cada muestra

se determinó la densidad por medio de conteo directo con ayuda de microscopio estereoscópico (Rossbach[®]) para, entonces, estimar la media poblacional. Para la estimación del peso individual, se aprovecharon las muestras previas para obtener el peso total de los organismos con una balanza analítica (balanza AND[®], modelo 120), previo filtrado y absorción de agua de adherencia con papel absorbente. El peso individual se calculó dividiendo el peso total entre el número de organismos. Con los datos de las 10 muestras se obtuvieron estadísticos de media y desviación estándar para densidad y peso individual. Los organismos que sobrevivieron al muestreo fueron regresados a su contenedor. La biomasa total se calculó con la multiplicación del peso individual, por la densidad y por el volumen en la pecera de recepción.

Infraestructura de las peceras y siembra de PL

Las tres peceras de cristal donde se realizaron las pruebas de aclimatación (50 cm × 25 cm × 30 cm de largo, ancho y alto, respectivamente) estaban equipadas con filtros de aireación en collar (figura 2) para mantener los niveles de oxígeno disuelto, evitar que los organismos se pegaran a la malla y, de esta forma, evitar pérdidas por mortalidad.

Figura 2. Filtro y aireación en collar



Fuente: Sorgeloos *et al.*, 1986.

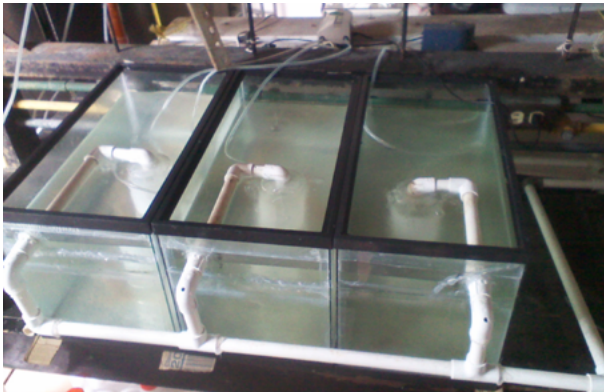
Las peceras fueron llenadas con la misma agua de mar artificial empleada para la aclimatación de las PL. La aireación necesaria para todos los grupos fue proporcionada por una bomba de aire HIBLOW[®] (modelo HP-40).

Una vez que se estabilizaron la aireación y la salinidad de cada una de las peceras, se procedió con la siembra de los organismos contándolos al momento del vertido hasta que se consiguió la densidad de 50 PL/l en cada pecera (Balbi *et al.*, 2005). Durante este periodo, los organismos fueron alimentados con la misma dieta comercial especificada en el proceso de aclimatación, a una ración diaria de 20 % de la biomasa, con una dosificación de 3 veces por día (8:00 am, 1:00 pm y 6:00 pm), para lo cual se emplearon alimentadores automáticos (Rondomatic 400 Grässlin[®]). La calidad del agua fue mantenida mediante la eliminación de sedimentos cada día (uso de sifón) y por medio del intercambio de agua asociado a los flujos experimentales.

Con el uso del sifón se tuvo la precaución de regresar a sus respectivas peceras a los organismos que accidentalmente fueron succionados. Lo anterior se consiguió colectando el volumen extraído en un vaso de precipitado de un litro, y posterior a su sedimentación se colectaron los organismos con una redcilla de mano.

Los líquidos conducidos por los vertederos de cada una de las peceras para aclimatación (figura 3) fueron vaciados a un canal de PVC que conducía al drenaje principal del laboratorio.

Figura 3. Infraestructura experimental donde se aprecia el sistema de desagüe hacia el drenaje principal

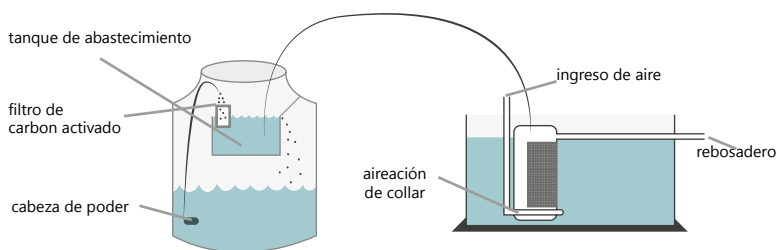


Una vez que se establecieron las mismas condiciones iniciales para las tres peceras, se inició la etapa experimental estableciendo las diferentes tasas de recambio de agua (2, 4 y 6 días de aclimatación) para conseguir una salinidad final de 1 g/l^{-1} en cada pecera. La metodología e infraestructura complementaria para asegurar las tasas de recambio se especifican en el siguiente apartado.

Infraestructura del tanque de almacenamiento y distribución

El abastecimiento constante de agua de la llave (0 g/l^{-1}) a cada una de las peceras, se consiguió mediante sifones procedentes de un tanque de almacenamiento de 1 000 litros de capacidad (Rotoplas[®]), el cual estuvo acondicionado para mantener las condiciones de calidad y presión hidráulica por medio de los siguientes dispositivos (figura 4): La calidad del agua (eliminación de sólidos suspendidos, disueltos y oxigenación) se mantuvo mediante la introducción de un filtro de carbón activado y la estabilidad de la presión hidráulica (necesario para que los sifones mantengan un flujo constante) se consiguió por la introducción de un tanque (TA: tanque de abastecimiento) de menor capacidad (50 l) en la parte interna y superior del Rotoplas. El nivel de agua del TA siempre se mantuvo al máximo por medio del uso de una bomba sumergible (cabeza de poder SUNNY[®], modelo SPH-600) que de manera continua bombeó agua desde el estrato inferior del Rotoplas. El flujo de la cabeza de poder fue superior al de la suma del flujo de los sifones de salida, de tal forma que se generó un vertimiento constante desde el TA hacia el estrato inferior del Rotoplas, cerrándose el ciclo. La cascada de agua generó aireación auxiliar. El volumen almacenado en el estrato inferior del Rotoplas fue de 400 litros, mayor al que se utilizó durante todo el periodo de aclimatación en todas las peceras.

Figura 4. Tanque de almacenamiento, abastecimiento y distribución de agua a las peceras experimentales (no a escala).



Se hicieron registros de la temperatura dentro de las peceras de aclimatación a baja salinidad mediante un termómetro de máximas y mínimas (Brannan[®]).

Cálculos de tasas de intercambio de agua

La siguiente metodología corresponde a la localización de flujos (ml/min) de abasto constante para conseguir cambios paulatinos de salinidad inicial (a la que llegaron los organismos) hasta una salinidad final (1 g/l⁻¹), en los diferentes tiempos experimentales (2, 4 y 6 días). El procedimiento se desarrolló iniciando con una salinidad de 30 g/l⁻¹, pero los modelos matemáticos se pueden manejar con cualquier valor inicial.

Los problemas de valor inicial del tipo $dx/dt = kx$, donde k es una constante, se presentan en muchas teorías físicas y biológicas que involucran crecimiento o decrecimiento (Zill, 1986). El cambio en la cantidad de sal (X) dentro de una pecera, que contiene agua a una salinidad inicial, la cual es alimentada y evacuada a un flujo constante con agua dulce, puede ser modelado en el tiempo (dt) con la solución de una ecuación diferencial. En este caso, la constante (k) es sustituida por las variables Q (flujo: ml/min) y V (volumen de la pecera: ml) de la siguiente forma:

Ecuación 1

$$\frac{dX}{dt} = \frac{Q}{V} X$$

La solución de la ecuación 1 (se han omitido los pasos intermedios) conduce a la siguiente fórmula que permite el cálculo del contenido de sal cuando se establecen condiciones iniciales:

Ecuación 2

$$X = ce^{\frac{-Q}{V}t}$$

En este caso, por tratarse de un problema de decrecimiento, el coeficiente de la variable tiempo (t) forzosamente tiene un valor negativo. Dado que todas las peceras empezaron ($t = 0$) con un valor inicial de salinidad de 30 g/l⁻¹ se pudo despejar el valor de la constante c ($30 \text{ g/l}^{-1} \cdot 30 \text{ l} = 900 \text{ g}$) y particularizar la ecuación 2 de la siguiente forma:

Ecuación 3

$$X = 900e^{-\frac{Q}{V}t}$$

Partiendo de que la salinidad (S) corresponde a la relación entre la cantidad de sal (X) y el volumen de la pecera (30 litros), la ecuación 3 permite el cálculo de S:

Ecuación 4

$$S = \frac{900e^{-\frac{Q}{V}t}}{30}$$

La ecuación 4 permite el cálculo de los flujos cuando se establecen las condiciones de las demás variables. Como ejemplo se presenta el caso de despejar el flujo (Q), de tal manera que se consiga una salinidad (S) de 1 g/l⁻¹ en un periodo (t) de 2 días (expresado en minutos) de un recipiente con un volumen (V) de 30 litros (expresado en ml):

Ecuación 5

$$1 \text{ g/l} = \frac{900e^{-\frac{Q}{30000 \text{ ml}} 2880 \text{ min}}}{30 \text{ l}}$$

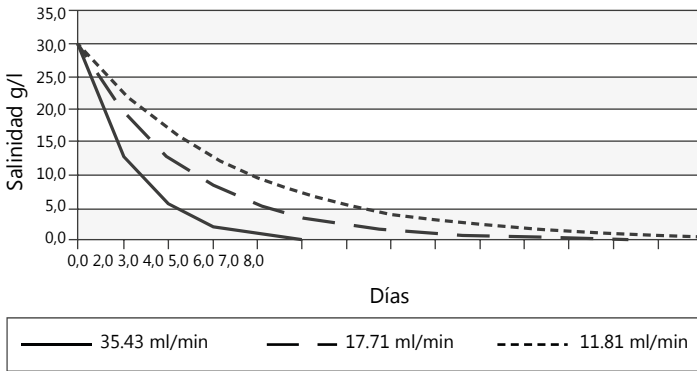
En este caso, el despeje y el cálculo de la variable Q condujo a un valor de 35.43 ml/min. A continuación se presentan los flujos que se calcularon para conseguir salinidades de 1 g/l⁻¹ en 2, 4 y 6 días (tabla 1).

Los cambios de salinidad teóricos en las peceras se muestran en forma gráfica en la figura 5.

Tabla 1. Flujos constantes de agua dulce para reducción de salinidad durante los periodos de aclimatación de las PL

Días	2	4	6
Flujos (ml/min)	35.43	17.71	11.81

Figura 5. Cambios de salinidad a través del tiempo (días), en los diferentes flujos o días experimentales de aclimatación



Los diámetros de los sifones fueron calculados partiendo de las velocidades en base al teorema de Torricelli (Giancoli, 1988):

Ecuación 6

$$v = \sqrt{2g(y_2 - y_1)}$$

En él, v corresponde a la velocidad máxima (m/s) del fluido (agua) en relación a una diferencia de alturas ($y_2 - y_1$) en metros; g corresponde al valor de la gravedad (9.8 m/s^2). Partiendo de un TA con una altura de 50 cm las velocidades teóricas corresponden a un valor de 3.13 m/s. De la ecuación de continuidad (ecuación 7) para fluidos incompresibles (Giancoli, 1988), se despejaron las áreas (posteriormente se calcularon los diámetros en unidades mm) de los cortes transversales de los tubos (mangueras) que fueron empleados como sifones para los diferentes flujos.

Ecuación 7

$$Q = Aw$$

En la ecuación 7, Q representa el flujo (m^3/s), A representa el área de corte transversal del tubo (m^2) y v representa la velocidad (m/s).

Los resultados de lo anterior se resumen en la tabla 2. El material de base que se consiguió fue tubo médico para venoclisis donado por la empresa PyMPSA, filial de PiSA^R. Los flujos se ajustaron de manera empírica modificando la diferencia de alturas ($y_2 - y_1$) y mediante el empleo de opresores ajustables (parte del mismo equipo de venoclisis).

Tabla 2. Diámetros teóricos de los tubos sifones expresados en mm, asociados a los flujos experimentales

Flujo ml/min	35.4	17.7	11.8
Diámetro mm	0.49	0.35	0.28

Rutina diaria de manejo de organismos

Dos días después de la siembra de los organismos se inició con los flujos experimentales manteniendo la rutina de alimentación (mismo alimento comercial (AC) y la misma ración alimenticia) apuntada ya en la sección «Infraestructura de las peceras y siembra de PL». Cada día se retiraron los restos acumulados en el fondo mediante un sifón, evitando succionar organismos. El volumen retirado fue tamizado para retener los sólidos suspendidos y posibles PL que involuntariamente hayan sido succionadas.

El volumen de agua fue reingresado a su pecera para minimizar cambios sobre el programa de acondicionamiento al que los organismos estaban siendo sometidos. Además, se dio limpieza a los filtros de aireación en collar para evitar descomposición de la materia orgánica acumulada y colapsos de la malla con posteriores derrames accidentales. Tres veces al día durante el periodo de aclimatación, se registraron los parámetros de temperatura, salinidad y flujo, para ejecución de ajustes necesarios en caso de desviaciones de lo programado.

Supervivencia al final de la aclimatación

Al final del periodo de aclimatación, se evaluó la supervivencia en cada tanque experimental mediante conteo total.

Pruebas de estrés osmótico

Para evaluar el estado general de los organismos después de las diferentes estrategias de aclimatación, se practicaron pruebas de estrés osmótico. La prueba se realizó siguiendo la metodología apuntada por Santacruz y Cobo (2001). La prueba consistió en aplicar un choque osmótico a los organismos de manera individual, los cuales fueron colocados en cajas de Petri con agua destilada (0 g/l^{-1}); se determinó la mortalidad acumulada en intervalos de tiempo, determinados por la observación, bajo el microscopio estereoscópico, de falta de actividad de los organismos.

Análisis estadísticos

Las diferencias de supervivencia entre grupos al final del periodo de aclimatación, así como las diferencias de tolerancia a las pruebas de estrés osmótico, fueron evaluadas por comparación de medias (ANOVA), previa verificación de supuestos de normalidad y homocedasticidad. En caso de no cumplirse estos criterios, se procedió al uso de la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Como prueba posterior, se emplearon pruebas de Tukey y de LSD (Ott, 1993). Se utilizó el programa estadístico Statgraphics Plus, versión 5.1.

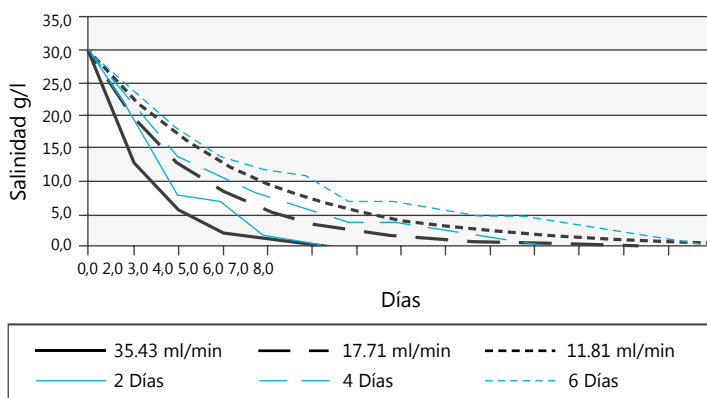
Resultados

Aclimatación de PL a baja salinidad

Durante los días de aclimatación a baja salinidad, se realizaron registros de este factor para verificar que estuviera de acuerdo con lo planeado. En la figura 6 se presenta, en forma comparativa, lo planeado con lo observado.

Aunque no se apuntó en los objetivos un análisis de la supervivencia de los organismos al final de las pruebas de aclimatación, se practicaron conteos de los camarones que quedaron en las peceras, registrándose 435 (35 %) PL en la de 2 días de aclimatación, 971 (78 %) PL en la de 4 días y 239 (19 %) en la de 6 días, de un total inicial de 1250 PL en cada pecera.

Figura 6. Comparación entre los valores de salinidad teórica con lo observado



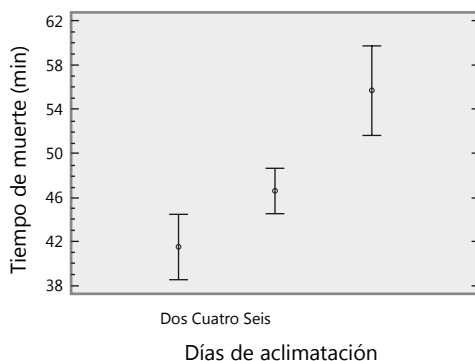
Fuente: salinidad teórica (líneas gruesas), observado (líneas delgadas).

Los flujos también son expresados en su equivalente a tiempo de aclimatación en días.

Pruebas de estrés en agua destilada

Durante las pruebas de estrés en agua destilada se observó menor resistencia en los organismos con dos días de aclimatación; una resistencia intermedia en los organismos con cuatro días de aclimatación, finalmente, la mayor resistencia en los organismos con seis días de aclimatación (figura 7).

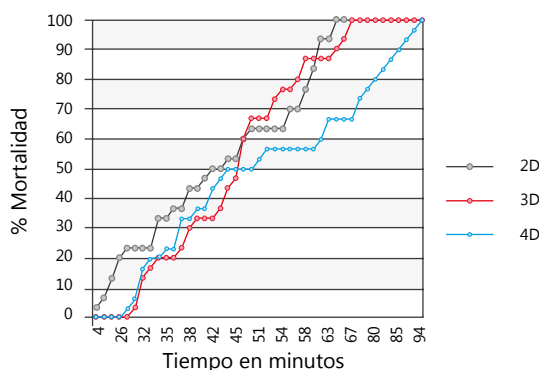
Figura 7. Promedios y errores estándar del efecto del tiempo de aclimatación sobre la resistencia de los organismos en pruebas de estrés



El resultado del análisis estadístico de todos los tiempos de mortalidad de cada grupo [n (grupo) = 30, total n (total) = 90], mostró que los datos se comportaron de manera normal debido a que los coeficientes estandarizados de sesgo y curtosis estaban dentro de rango. Para verificar que los datos tuvieran varianzas homogéneas, se corrieron las pruebas de Levene, Hartley y Cochran, encontrándose en todos los casos que se violó este principio propio de las pruebas paramétricas ($p < 0.05$), por lo que los datos se analizaron alternativamente con la prueba de Kruskal Wallis encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) y la formación de dos grupos homogéneos con la prueba de LSD: el grupo con dos días de aclimatación fue significativamente menor al grupo de seis días de aclimatación, mientras que el grupo con cuatro días se comportó de manera intermedia, participando en ambos grupos homogéneos.

En la figura 8 se aprecian las mortalidades acumuladas en el tiempo para cada uno de los grupos de aclimatación. El grupo que consiguió primero 100 % de mortalidad fue el de dos días de aclimatación (aproximadamente a los 63 minutos), seguido por el grupo con cuatro días de aclimatación, el cual consiguió 100 % de mortalidad aproximadamente a los 67 minutos y, finalmente, el grupo con seis días de aclimatación consiguió 100 % de mortalidad aproximadamente a los 94 minutos de exposición al agua destilada. Nótese que las diferencias son más evidentes en índices de mayor porcentaje de mortalidad (ejemplo 50 % *versus* 100 %).

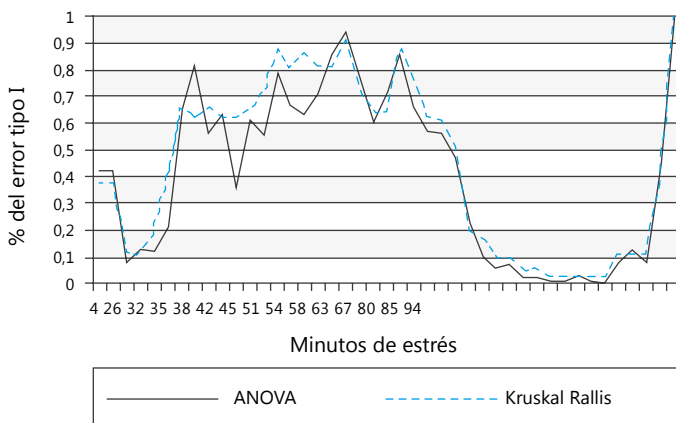
Figura 8. Mortalidad acumulada de las PL de *L. vannamei* expuestas a estrés después de haber sido aclimatadas en diferentes periodos de tiempo



Nótese que el grupo con sólo dos días de aclimatación consiguió los índices de mortalidad del 10, 20, 30, 40 y 50 % antes que los otros dos grupos. El grupo con cuatro días de aclimatación que en un principio demostró mayor fortaleza que los grupos de dos y seis días de aclimatación, cambió a partir del índice de 60 % presentando mayor mortalidad y, así, manteniéndose hasta el índice de 86.7 % para registrar una mortalidad intermedia hasta llegado el índice de 100 %. Este tipo de superposiciones en las gráficas se presentó también con el grupo de seis días de aclimatación (figura 8).

Se practicaron pruebas de ANOVA y Kruskal Wallis con los datos de mortalidad acumulada en los diferentes minutos en que se hicieron muestreos de este parámetro, entre los grupos de diferente tiempo de aclimatación. En total, se practicaron 43 pruebas de ANOVA y 43 pruebas de Kruskal Wallis cuyos resultados se aprecian en la figura 9. La evidencia estadística de rechazo de hipótesis nula se presentó en el rango de tiempo de 64 a 81 minutos.

Figura 9. Valores del error tipo I a través del tiempo



En el rango de 64 a 81 minutos los valores de probabilidad del error tipo I para ambas pruebas fueron menores a 0.05.

La composición de grupos homogéneos, en el rango de tiempo de 64 a 81 minutos de exposición a estrés en agua destilada, obtenida mediante la prueba de Tukey con datos previamente transformados por jerarquización, se aprecia en la

tabla 3. Hay que recordar que tanto la prueba de ANOVA como la de Kruskal Wallis por sí solas no detectan los grupos causantes de la significancia estadística por lo que es necesario el uso de pruebas posteriores como las de LSD, Tukey, etcétera, para la localización de los grupos causantes de la significancia (grupos homogéneos). Cuando las equis forman una columna significa que no hay diferencias significativas entre los grupos como se aprecia en el minuto 63 (tabla 3).

Tabla 3. Variación en la composición de grupos homogéneos en los diferentes tiempos de exposición a estrés

Aclimatación	Tiempo de exposición a estrés								
	63	64*	65	67*	72	76	80	81	82*
6D	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4D	X	XX	X	X	X	X	X	X	X
2D	X	X	X	X	X	X	X	X	X

El asterisco indica que un grupo llegó a 100 % de mortalidad

Discusiones

Recepción de organismos y su mantenimiento previo al inicio de la fase experimental

Los organismos llegaron a una densidad similar a la prevista (130 PL/l⁻¹); luego fueron depositados en una pecera de recepción con capacidad de 100 l disminuyendo la densidad a 40 PL/l⁻¹, a fin de realizar el primer paso de aclimatación, por lo que se estabilizaron para después pasarse a su pecera experimental correspondiente. La aclimatación térmica se consiguió de manera natural destapando los contenedores de transporte y proporcionando aireación de tal forma que la tasa de cambio de temperatura no fuera mayor a 3 °C/h⁻¹ (Van Wyk, 1999a). Las condiciones de la pecera de recepción (sustrato, sistema de recirculación, etcétera) permitieron el adecuado mantenimiento de los organismos durante este periodo en forma similar a como se había reportado con anterioridad (Aranda-Méndez *et al.*, 2010).

Debido a que los camarones llegaron a una salinidad de 30 g/l⁻¹, se facilitó el cambio a la pecera de recepción ya que no se modificó este parámetro (en base a lo que se había planeado originalmente) y por lo tanto no se invirtió tiempo en esa aclimatación.

Eficacia del alimento utilizado

Inicialmente se había planeado trabajar con la dieta comercial Camaronina 40 %, de Agribands Purina México, pero no fue posible porque lo mínimo que vendían era un saco de 25 kg, lo cual sobrepasaba las necesidades del presente trabajo. En vez de esta dieta se localizó la alternativa de dieta comercial El Pedregal Silver Cup tipo iniciación con 52 % de proteína; esta empresa tiene la posibilidad de vender cualquier cantidad a partir de 1 kg. Para el presente estudio se les compró un lote de 3 kg, el cual entregaron al domicilio de la universidad en el tiempo y la hora convenidos. Fue un alimento con contenidos energéticos estables, al que no fue necesario añadirle más suplementos orgánicos necesarios para estos organismos. La única adaptación que se le hizo fue someterlo a molienda de 100 micras para facilitar su consumo por las PL. La molienda se solicitó al CITSIA (Centro de Desarrollo Tecnológico de Alimentos de la Universidad Autónoma de Guadalajara). Haber optado por una dieta con mayor contenido de proteína fue adecuado considerando que los organismos de menor edad tienen mayores requerimientos de esta fuente energética. Organismos entre 0.002 g y 0.25 g requieren dietas con contenidos aproximados de 50 % de proteína (Van Wyk, 1999b).

Eficacia de recipientes de cultivo y sistema de flujos

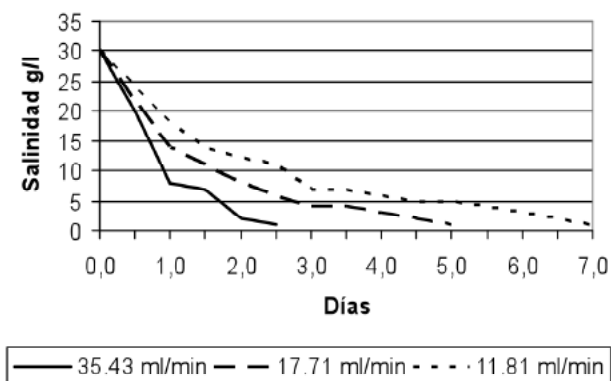
El mantenimiento del nivel del agua para el funcionamiento normal en el tanque de abastecimiento siempre estuvo garantizado porque el flujo de la bomba sumergible dentro del tanque de almacenamiento siempre fue superior al flujo combinado de los sifones de abasto a las 3 peceras experimentales.

El ensamblaje entre el tanque de abastecimiento y las peceras experimentales presentó algunas variaciones respecto a lo que se había planeado. Se hicieron ajustes en la altura de los extremos de los sifones hasta que se consiguieron los flujos marcados en los datos teóricos obtenidos en la sección de materiales y métodos. Para el caso de la última pecera experimental, con el menor flujo, fue necesario utilizar un ahorcador tipo venoclisis ya que con el simple ajuste de alturas no se conseguía el flujo deseado. Los flujos se verificaron de forma constante por un sistema conformado por una probeta graduada de 50 ml y un cronómetro digital.

En la figura 6 de resultados se muestra que la salinidad disminuyó más lento en los datos observados que en los teóricos. También se observa que los valores medidos no tienen un comportamiento uniforme sino un comportamiento oscila-

torio debido a la calibración manual del flujo de agua que era ajustada día con día. Las diferencias entre los valores observados con los teóricos se atribuyen a la falta de precisión del equipo empleado, en el que de manera sistemática se generó un desfase entre el momento de detener el cronómetro y el registro del volumen en la probeta. Pero al final del proceso experimental se llegó al objetivo deseado: tres grupos con aproximadamente dos días de diferencia en sus tiempos de aclimatación donde no hubo superposición entre los valores de salinidad como se puede apreciar en la figura 10, terminando todos los grupos a una concentración de 1 g/l^{-1} al final del proceso de aclimatación.

Figura 10. Comportamiento observado de la salinidad en los diferentes tiempos de retención medidos



Supervivencia al final del proceso de aclimatación

En un principio se pensó que no sería necesaria la instalación de un sistema de mantenimiento de la calidad del agua debido a que el proceso de aclimatación a baja salinidad al que se sometieron los organismos siempre promovería agua nueva y eliminación de los residuos disueltos y sólidos suspendidos que lograran pasar por el filtro. En la práctica se notó que la supervivencia en el grupo con 4 días de aclimatación fue mayor que en el grupo de 2 días. Estos resultados están en completo acuerdo con lo que se esperaba ya que en el grupo de 4 días se combinan poco estrés al cambio de salinidad y suficiente intercambio de agua para mantenimiento de su calidad. No obstante, en el grupo con 6 días de aclimatación, que era

donde se esperaba menor índice de mortalidad, sucedió lo contrario. Todo indica que el tiempo de aclimatación de 6 días, aunque promovió bajo estrés al cambio salino, no fue suficiente para el desecho de los residuos metabólicos. Esto pudo haberse verificado mediante registros de nitrógeno amoniacal pero no se planeó desde un principio. De acuerdo a Van Wyk (1999a) deben hacerse ajustes a la tasa de aclimatación a baja salinidad de acuerdo al siguiente programa (Tabla 4):

Tabla 4. Recomendaciones para cambio de salinidad, tiempos y tasas de aclimatación para *L. vannamei*

<i>Rango</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Tasas</i>
32 a 16	8 h	2 ppt/h
16 a 8	8 h	1 ppt/h
8 a 4	8 h	0.5 ppt/h
4 a 2	8 h	0.25 ppt/h
2 a 1	8 h	0.125 ppt/h
1 a 0.5	8 h	0.063 ppt/h

Fuente: Van Wyk, 1999a

De acuerdo a lo anterior se puede conseguir una adecuada aclimatación en un total de 48 horas (2 días). En el presente trabajo, en el que se evaluaron 2, 4 y 6 días como periodo de aclimatación, se trabajó con tasas de recambio con valores inferiores a los topes establecidos por Van Wyk (1999a).

*Evaluación de la condición general de los organismos
después de los periodos de aclimatación*

En la figura 7 se aprecia claramente que el estado general de los organismos cambió en proporción directa al tiempo de aclimatación, en concordancia a lo que se había planteado en la hipótesis. Los organismos sometidos a 2 días de aclimatación soportaron en promedio 42 minutos en condiciones de estrés osmótico; los sometidos a 4 días de aclimatación soportaron más que el anterior, con un promedio de 47 minutos; y finalmente los especímenes que experimentaron un cambio osmótico más lento de 6 días fueron los que tuvieron los mejores índices de resistencia, soportando en promedio 56 minutos. Se sabe que la capacidad de osmoregulación

está en función del desarrollo de las branquias (Scarpa, 1998; Van Wyk, 1999a), por lo que se estima que la mejor condición de los organismos con mayor tiempo de aclimatación sea una consecuencia combinada de dos factores: menor estrés durante la aclimatación y mayor capacidad debido a branquias más desarrolladas.

Del análisis de la figura 9, se aprecia que el diseño experimental tiende a arrojar diferencias significativas en dos momentos: al inicio y al final del bioensayo. Todo indica que al principio la diferencia es causada por los organismos más débiles de todos los grupos, mientras que al final las mortalidades son por los organismos más resistentes. Este comportamiento ya ha sido registrado con anterioridad con el camarón *Mysidopsis bahia* (Castro-Gaxiola, 2007). Ya se había mencionado que los verdaderos resultados significativos, empleando tres repeticiones cada una con 10 organismos, se presentaron hacia el final del bioensayo (rango del minuto 64 al 81) pero la evidencia indica que el periodo de análisis podría realizarse también alrededor del minuto 20. Existe la posibilidad de hacer cálculos estadísticos de manera inversa para definir el número de observaciones necesarias a fin de conseguir diferencias significativas considerando los índices de desviación estándar que se registraron al minuto 20. Este objetivo de calcular el número de repeticiones no fue programado al inicio de esta investigación pero se puede decir un poco más al respecto: es cierto que se puede disminuir el tiempo de exposición a estrés de los organismos pero esto conlleva un incremento en el trabajo del analista porque en vez de revisar 3 repeticiones por grupo tendría que revisar los necesarios de acuerdo al análisis retrospectivo.

Conclusiones

- 1) Los organismos sometidos al mayor tiempo de aclimatación, aunque mostraron mayor tolerancia en las pruebas de estrés, no tuvieron el mayor porcentaje de supervivencia sobre el resto de los grupos al término del periodo de aclimatación a baja salinidad; este desempeño probablemente fue debido al deterioro de la calidad del agua por causa del mayor tiempo de residencia hidráulica y la consecuente baja eliminación de metabolitos de desecho. El problema se podría controlar con una menor carga de biomasa. Se recomienda hacer un seguimiento de la evolución del nitrógeno amoniacal.
- 2) Los organismos con 4 días de aclimatación mostraron una condición intermedia de supervivencia y resistencia al estrés osmótico; esta información

- favorece a las empresas dedicadas a la producción de postlarvas para cultivo a baja salinidad, ya que se consigue el mayor número de organismos con buena condición física.
- 3) *Litopenaeus vannamei* es una especie resistente capaz de cultivarse a niveles bajos de salinidad en sitios donde no se cuente con las condiciones marinas o estuarinas necesarias para otras especies de camarón, siempre y cuando sea sometida a un periodo de aclimatación.
 - 4) Las pruebas de estrés osmótico en agua destilada, posteriores al proceso de aclimatación, mostraron dependencia directamente proporcional entre el tiempo de aclimatación y la resistencia de los organismos.

Bibliografía

- Aranda-Méndez, J.C., S.A. Romo-Urbe, M.R. Pérez-Medina y J.L. Zavala-Aguirre, 2011. Evaluación de crecimiento del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en condiciones de laboratorio. *Primer Congreso de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de Jalisco*. Memorias. Academia Jalisciense de Ciencias, pp. 45-52.
- Balbi, F., J. Rosas, A. Velásquez, T. Cabrera y C. Maneiro. 2005. Aclimatación a baja salinidad de postlarvas del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) provenientes de dos criaderos comerciales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40(2): 109-115.
- Castro-Gaxiola, H.A. 2007. *Evaluación del proceso de eclosión de huevos de Artemia franciscana (Kellog) como bioindicador de contaminantes en aguas marinas comparándolo con el bioindicador Mysidopsis bahia (Molenok)*. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología-Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Chim, L., R. Bouveret, P. Lemaire y J.L.M. Martin. 2003. Tolerance of the shrimp *Litopenaeus stylirostris*, Stimpson 1894, to environmental stress: interindividual variability and selection potential for stress-resistant individuals. *Aquaculture Research* 34: 629-632.
- Davis, D.A., I.P. Saoud, W.J. McGraw y D.B. Rouse. 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters. En *Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposio Internacional de Nutrición Acuicola* (L.E. Cruz-Suarez, D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M.G. Gaxiola-Cortés y N. Simoes, eds.), pp. 74-90. Cancún, Quintana Roo, México.
- Durán, R., Rodríguez, J. M. y Morales, J. 1991. Stress-tests: a practical tool to control postlarval shrimp quality. *Larvi 91 Fish y Crustacean larviculture symposium*. European Aquaculture Society. Special publication No 15, Gent. Belgium.
- Esparza-Leal, H.M., J. T. Ponce-Palafox, E. A. Aragón-Noriega, J. L. Arredondo-Figueroa, M. García-Ulloa-Gómez y W. Valenzuela-Quirón. 2009. Growth and performance of the whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) cultured in low-salinity water with different stocking densities and acclimation times. *Aquaculture Research* 41(6): 878-883.
- Fegan, D. 1992. *Recent development and issues in the penaeid shrimp hatchery industry*. In: *Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming*. (ed. por J. Wyban), pp. 55-70. *World Aquaculture Society, Orlando, FL, EUA*.
- Giancoli, D.C. 1988. Cap. 13.3 Ecuación de Bernoulli. En: *Física General* vol. 1. Prentice-Hall Hispanoamericana. México.

- González-Félix M., Gómez-Jiménez L., Perez-Velázquez S., Davis D.A. y Velazco-Ramenós J.G. 2007. Nitrogen budget for a low salinity, zero water exchange culture system I. Effect of dietary protein level on the performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research* 38: 798-808.
- Laramore, S., Laramore C.R. y Scarpa J. 2001. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 32: 385-392.
- Main, K.L. y Van Wyk, P. 1999. Introduction. Chapter 1. En: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K.L., Mountain, J., y Scarpa, J. (Eds). Florida Department of Agriculture and Consumer Services BOB CRAWFORD, COMMISSIONER. 220 pp.
- McGraw, W.J. y J. Scarpa. 2002. Determining ion concentrations for *Litopenaeus vannamei* culture in freshwater. *Global Aquaculture Advocate* 5 (3): 36.
- McGraw, W.J. y Scarpa J. 2004. Mortality of freshwater-acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture* 236: 285-296.
- McGraw, W.J., Davis D.A., Teichert-Coddington D. y Rouse D.B. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity end point, and rate of salinity reduction. *Journal of the World Aquaculture Society* 33: 78-84.
- Ott, R.L. 1993. *An introduction to Statistical Methods and data Analysis*. Duxbury Press. Fourth Edition. 1051 pp.
- Santacruz, J. y Cobo, M. de L. 2001. Pruebas preliminares de evaluación para determinar la cantidad de postlarvas de *Litopenaeus vannamei*. *Cenaim informa*. Boletín quincenal núm. 36 Julio.
- Samocha, T.M., Hamper L., Emberson C.R., Davis D.A., McIntosh D., Lawrence A.L. y Van Wyk P.M. 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida. *Journal of Applied Aquaculture* 12: 1-42.
- Scarpa, J., 1998. Freshwater recirculating systems in Florida. In: Moss, S. M. (Ed.). *Proceedings of the U.S. Marine Shrimp Farming Program Biosecurity Workshop*, February 14, 1998, The Oceanic Institute, 67-70.
- Sorgeloos, P., P. Lavens, P. Leger, W. Tackaert y D. Versichele. 1986. *Manual for the Culture and Use of Brine Shrimp Artemia in Aquaculture*. State University of Ghent, Belgium. Faculty of Agriculture. 319 pp.
- Spotte, S. 1979. Fish and invertebrate culture. John Wiley y Sons, U.S.A. 179 pp.
- Valderrama, D. y Anderson, J.L. 2011. Shrimp Production Review. *Global Outlook for Aquaculture Leadership* (GOAL). Santiago, Chile, del 6 al 9 de noviembre. Consultado en internet en septiembre de 2012: <http://www.gaalliance.org/update/GOAL11/DiegoValderrama.pdf>
- Van Wyk, P. 1999a. Receiving and Acclimation of Postlarvae. Chapter 6. En: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K.L., Mountain, J., y Scarpa (Eds.). Florida Department of Agriculture and Consumer Services BOB CRAWFORD, COMMISSIONER. 220 pp.
- Van Wyk, P. 1999b. Nutrition and Feeding of *Litopenaeus vannamei* intensive Culture Systems Chapter 7. En: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K.L., Mountain, J., y Scarpa (Eds.). Florida Department of Agriculture and Consumer Services BOB CRAWFORD, COMMISSIONER. 220 pp.
- Zill, D. G. 1986. Cap. 3. Aplicaciones de las ecuaciones diferenciales de primer orden. 85-110. En: *Ecuaciones diferenciales con Aplicaciones*. Segunda Edición. Grupo Editorial Iberoamérica.

Detección inteligente de microcalcificaciones en mamografías basada en técnicas difusas

RAMÓN OSVALDO GUARDADO MEDINA¹

RUBÉN RUELAS LEPE²

BENJAMÍN OJEDA MAGAÑA³

Abstract

El siguiente artículo muestra un primer acercamiento para el análisis de mamografías, mediante técnicas de procesamiento, en el dominio espacial, utilizando mascarar para los diferentes filtros (butterworth, gaussian, laplacian, averange) y el dominio de la frecuencia, analizando las características naturales de la imagen, aplicando filtrado en su forma matemática, con el objetivo de tener un realce en las característica, en la etapa posterior se realiza un agrupamiento de propiedades llamado segmentación utilizando el algoritmo no supervisado k-mean. Observando las bondades que otorga el algoritmo se llega a la conclusión de la separación que puede hacer el mismo entre el fondo y la mama, agrupando también algunas de las características de tejido y posibles anomalías presentes. Por otro lado muestra algunas debilidades en la ubicación de los contornos entre la mama y el fondo de la imagen. *Keywords:* Microcalcificaciones, cáncer de mama, mamografías, segmentación, preprocesamiento.

Introducción

El cáncer de mama provoca un alto índice de mortalidad, de acuerdo con las estimaciones del año 2002 se presentaron 1, 151, 298 casos nuevos de cáncer de

-
- [1] Departamento de Tecnologías de la Información, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Guadalajara, México.
 - [2] Departamento de Tecnologías de la Información, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Guadalajara, México.
 - [3] Departamento de Tecnologías de la Información, Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas, Guadalajara, México. Correo electrónico: osvaldo.guardado@cucea.udg.mx.

mama y 410, 712 defunciones y más de 4. 4 millones de mujeres viven con este tipo cáncer de mama alrededor del mundo [3]. Hablando de México, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el comunicado número 267/11 emitido el 13 de junio del 2011: Para el año 2009, la tasa de mortalidad por cáncer de mama en los 10 estados con mayor incidencia es de 14.2 fallecimientos por cada 100 mil mujeres de 25 años o más, tasa un poco mayor al doble que la del promedio en los 10 estados con menor incidencia (7.2 mujeres fallecidas por cada 100 mil mujeres mayores de 25 años).

La mamografía es un tipo específico de imágenes que utiliza un sistema de dosis baja de rayos X para examinar las mamas. Un examen de mamografía, llamado mamograma, se utiliza para asistir en la detección temprana y el diagnóstico de las enfermedades mamarias en las mujeres.

Un rayos X (radiografía) es un examen médico no invasivo que ayuda a los médicos a diagnosticar y tratar las condiciones médicas. La toma de imágenes con rayos X supone la exposición de una parte del cuerpo a una pequeña dosis de radiación ionizante para producir imágenes del interior del cuerpo. Los rayos X son la forma más antigua y de uso más frecuente para producir imágenes médicas. Dos recientes avances a la mamografía tradicional incluyen la mamografía digital y la detección asistida por computadora. (RSNA,2013) La Mamografía digital, también llamada mamografía digital de campo completo (MDCC), es un sistema de mamografía en el que la película de rayos X es remplazada por detectores en estado sólido que transforman los rayos X en señales eléctricas. Estos detectores son similares a los que tienen las cámaras digitales. Las señales eléctricas se utilizan para producir imágenes de las mamas que pueden verse en una pantalla de computadora o ser impresas en una película especial similar a los mamogramas convencionales. Desde el punto de vista del paciente, tener una mamografía digital es esencialmente lo mismo que tener mamograma convencional. (RSNA, 2013)

Los temas de investigación relacionados a la detección de micro calcificaciones en mamografías, tiene dos formas de evaluación general, por una parte las investigaciones con diferentes métodos de detección en diferentes áreas de conocimiento, médicas, minerías de datos, en las mismas mamografías y una importante que es la del usuario final, los radiólogos, los cuales evalúan constante mente los Sistemas Asistidos por Computadora (por sus siglas en ingles CAD), sistemas que son productos de los resultados de la combinación de los diferentes resultados que

han encontrado gran cantidad de investigadores y la transferencia de tecnología, aplicada al sector médico. De lo anterior difiere algunos puntos en el criterio de ver los resultados en las dos áreas de evaluación sin dejar respetar el avance mostrado de las investigaciones realizadas, el punto a tratar es la del usuario final. De acuerdo Philpotts (Philpotts, 2009), en la estructura de la mama difiere entre mujeres y sobre todo entre una y otra mama en la misma mujer, lo anterior sin dejar pasar, los diferentes grupos étnicos, sedentarismo, edad, culturas. Esto hace que sea complicada la forma de ver y de estudiar las anomalías existentes en el tejido mamario, teniendo en cuenta que se pueden perder un 20 % aproximadamente de cáncer en la monografía en tejidos densos.

La mayoría de investigaciones es que se realizan en forma retrospectiva, es decir se realizan basándose en observaciones clínicas o a través de análisis especiales, donde se revisan situaciones de exposición a factores sospechosos, comparando grupos si existen anomalías o no, viendo la frecuencia existente y aplicando un análisis estadístico, determinando así el factor de estudio. Philpotts de acuerdo al análisis que realiza en los sistemas CAD (Linguraru, 2006), No recomienda utilizar los sistemas, por que su sensibilidad actual no es la suficiente para encontrar diferentes tipos de cáncer, así como no utilizarlos como primer interprete de la situación ya que crearía muchos falsos negativos. Por otro lado cuando el radiólogo debe analizar este tipo de imágenes y el número de exploraciones a evaluar es elevado, se pueden cometer errores de percepción a consecuencia de la fatiga o pérdida de concentración, esto trae como consecuencia que ante la misma imagen pueda diferir de un momento a otro, llamado como inconsistencia diagnóstica. De esta manera se le considera a los sistemas asistidos por computador como una segunda valoración o en algunos casos como un segundo observador (Restori, 2010).

Los sistemas CAD en forma general contienen múltiples fases de desarrollo:

- a) Preprocesamiento.
- b) Fase de segmentación.
- c) Extracción de características.
- d) Detección de micro calcificaciones.
- e) Fase de clasificación.
- f) Clasificación de clúster o grupos.

En donde se han realizando diferentes metodologías de solución, es aquí en donde difieren los resultados obtenidos, dependiendo las mejoras en algunas de las fases (Rizzi).

Hablando de enfoques técnicos, en los que se ha desarrollado investigación sobre la detección de micro calcificaciones en cáncer de mama, la Tabla 1, muestra, la contribución y los resultados obtenidos en las investigaciones, en las que se involucran los estudios de técnicas difusas, así como de realce de características, redes neuronales y clasificando cada una de ellas, así mismo muestran los resultados obtenidos y las técnicas de validación que se utilizaron en el análisis o estudio, presentado en cada un de los proyectos de investigación. Los datos de la Tabla 1, se relacionan directamente con el tema de investigación presentado en la presente propuesta, es importante mencionar la investigación (Mohanalin, 2010), en donde aumenta el nivel de detección de verdaderos positivos de un 80.21 % al 96.55 %, el mismo presenta, una importante técnica de validación y aportando así un novedoso crecimiento en la detección de microcalcificaciones. Otra investigación importante (Dheeba, 2011), que presenta un favorable incremento en la detección mediante técnicas de redes neuronales, el cual presenta un 97.61 % en la detección en base de datos y un 91.38 % en tiempo real, lo que traduce que en sistemas CAD, tomó un avance considerable en la detección de cáncer. Estas dos investigaciones mencionadas son de gran importancia en el estudio que se requiere realizar, con respecto a los otros estudios vistos en la tabla 1, se les considera importantes, por que aportan datos y características importantes a la investigación en curso.

Tabla 1. Métodos de detección de microcalcificaciones en el estudio de cáncer de mama

Artículo	Métodos, resultados y mediciones		
	Nombre	Resultados	Mediciones y pruebas
1	A novel automatic microcalcification detection technique using Tsallis entropy & a type II fuzzy index	Tsallis Entropy 96.55% y 80.21%, cuando se usa Fuzzy index.	Intensity levels of the image probability distribution of gray levels, and Type II fuzzy index.

2	A biologically inspired algorithm for microcalcification cluster detection.	The generation of SMF is present in Fraction improves when the TP is at 100% and this is when the CLS is removed.	Non-standard algorithm, noise remover, and evaluated by FROC curve (Free-Response Operating Receiver Characteristics).
3	A Swarm Optimized Neural Network System for Classification of Microcalcification in Mammograms Detection.	Method SONN (Swarm Optimization Neural Network), was obtained Az = 0.9761 for the database and Az = 0.9138 for real-time clinical images.	Method SONN (Swarm Optimization Neural Network), was obtained Az = 0.9761 for the MIAS database and Az = 0.9138 for real-time clinical images.
4	A Method for Detecting Microcalcifications in Digital Mammograms.	Scanning images to find injuries and micro calcifications, especially when using high-boost filtering.	High-boost filtering for pre processing, low-pass filter based on morphology, the results presented by ROC curve.
5	Microcalcification classification assisted by content-based image retrieval for breast cancer diagnosis.	With exclusion of ADH: Category 3 = 7% (4/55), category 4 = 48% (13/27), Category 5 = 94% (17/18).	Morphology, kinetics on MRI (MR) with a normal distribution evaluation value of p (Hypothesis Testing).
6	Image Feature Extraction in the Last Screening Mammograms Prior to Detection of Breast Cancer.	224 digitized mammograms in 58 112 patients were found 112 mass growths under the breast.	Caudal Crani CC and medium lateral oblique MLO, is validated by the Markov method.
7	Contrast Enhancement in Dense Breast Images to Aid Clustered Microcalcifications.	Detection result MCs group, when used individually, by using 20% of original histogram detection intervals.	High-boost filtering for pre processing, low-pass filter for image reconstruction based on morphology, how to assess the results presented by ROC curve.

Response Operating Receiver Characteristics, ROC.

Debido a los diferentes puntos de opinión, se realiza la investigación de detección de anomalías en mamografías para la detección temprana de cáncer, Se procede a realizar la investigación para tener un mayor grado de aceptación y confianza en tanto en la parte de investigación como en la parte de usuario final.

Métodos y Desarrollo

Para la parte del preprocesamiento de las mamografías, hay que tener en cuenta que su principal objetivo es el realce de características de la mamografía, reduciendo el ruido, regulación de intensidades, normalización de contraste, en todas las regiones de la imagen, para esto se analiza la imagen aplicando filtrado en los dominios del espacio y frecuencia.

Dominio Espacial.

El procesamiento por grupo de píxeles opera sobre un grupo de píxeles de entrada que rodean a un píxel central. Por lo tanto, los píxeles adyacentes proporcionan información importante sobre la tendencia del brillo en el área que se está procesando. El uso y análisis de estas tendencias del brillo en una imagen, motivan las operaciones de filtrado espacial.

Todas las imágenes contienen detalles, algunos detalles marcados y otros detalles no tan marcados. Estos detalles están compuestos por transiciones de brillo que varían en ciclos que van del oscuro al claro y vuelta al oscuro. La tasa a la cual el brillo varía completando un ciclo es su frecuencia espacial. Las frecuencias espaciales pueden orientarse horizontalmente, verticalmente o en cualquiera de las diagonales. Una imagen está formada por componentes de frecuencia que varían de bajas frecuencias a altas frecuencias.

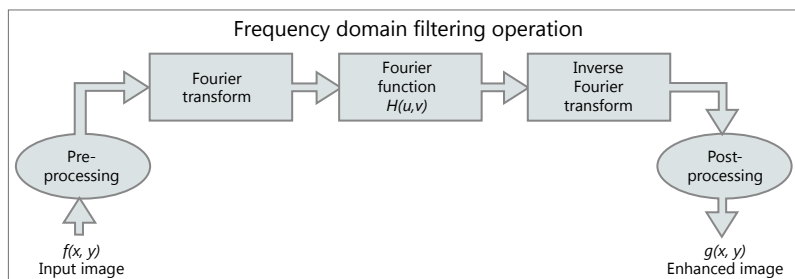
Donde prevalecen transiciones rápidas de brillo, hay altas frecuencias espaciales, mientras que transiciones de brillo que cambian lentamente representan bajas frecuencias. Las altas frecuencias en una imagen aparecen toda vez que están presentes bordes abruptos o puntos, como una transición del blanco al negro dentro de uno o dos píxeles de distancia.

Dado que la convolución se da en imágenes planas este método llega a tener problemas de pérdida de información ya que la mamografía es tomada sobre una placa que aunque es plana, la mamografía fue tomada en 3D, lo que se pierde el fondo de la misma.

Dominio de la frecuencia.

Los filtros en el dominio de la frecuencia se usan, principalmente, para eliminar altas o bajas frecuencias de la imagen, lo que se traduce en suavizar la imagen, o bien, realzar o detectar bordes.

Figura 1. Diagrama a bloques de procesamiento de imágenes en frecuencia



Fuente: González, 2004.

Los pasos a seguir son:

- Se multiplica cada entrada $f(x,y)$ por $(-1)^{x+y}$.
- Se transforma la imagen en su dominio de la frecuencia mediante la Transformada Discreta de Fourier, $F(u,v)$.
- Se multiplica por un filtro de frecuencia $H(u,v)$, para cada (u,v) : $G(u,v)=H(u,v)F(u,v)$.
- Se calcula la inversa de la TDF de $G(u,v)$ (tomando la parte real), volviendo, así, al dominio del espacio.
- Se vuelve a multiplicar por $(-1)^{x+y}$. (Castleman, 1996).

Básicamente, hay tres tipos diferentes de filtros de frecuencia:

Filtros de paso bajo (lowpass filter). Deja inalterables las bajas frecuencias y atenúa o elimina las altas frecuencias. El resultado en el dominio del espacio consiste en un suavizado: eliminar pequeños detalles y ruidos de la imagen. El más sencillo es el «Filtro ideal de paso bajo», en el que:

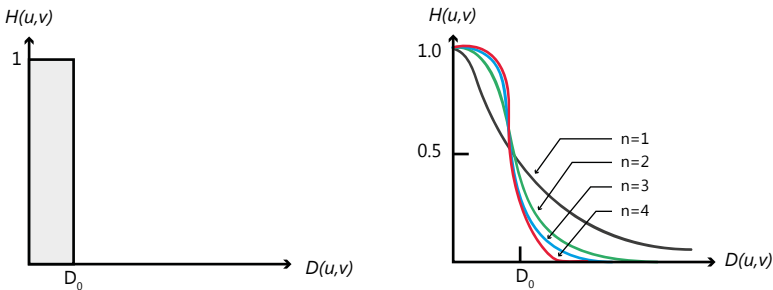
$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{si } D(u,v) \leq D_0 \\ 0 & \text{si } D(u,v) > D_0 \end{cases}$$

Donde $D(u,v)$ es la distancia euclidiana de (u,v) al origen del plano de frecuencias. Este filtro suprime las altas frecuencias mayores que un cierto valor D_0 , que se denomina frecuencia de corte, y deja las demás tal como están. A diferencia del filtro ideal pasa-bajos, la función de transferencia del filtro Butterworth no tiene una discontinuidad evidente que establezca una frecuencia de corte bien determinada.

Para aquellos filtros que tienen una función transferencia continua (o suavizada) es común definir una frecuencia de corte en un punto tal que $H(u,v)$ esté por debajo de una cierta fracción de su máximo. En el caso del filtro Butterworth, $H(u,v)=0.5$ (50 % de su máximo valor, o sea, 1) cuando $D(u,v)=D_0$, para $n=1$, el filtro Butterworth no presenta oscilaciones; para $n=2$, las oscilaciones son casi imperceptibles; mientras que para $n>2$, los filtros Butterworth presentan oscilaciones indeseadas. Si bien se utilizan diferentes n para el cálculo del filtro Butterworth, el de segundo orden ($n=2$) es el que generalmente se elige ya que tiene un buen compromiso entre un filtrado pasa-bajos efectivo y oscilaciones de intensidad aceptable.

Los filtros pasa bajos más usados son los *Butterworth* y el *Gaussiano*, en el primero su orden n lo va haciendo más ideal cuando su índice n va aumentando, como se muestra en las figuras 2 y 3 (González, 2004).

Figura 2. Filtrado ideal. 3 Filtrado Real



Filtros de paso alto (highpass filter). Deja inalterables las altas frecuencias y atenúa o elimina las bajas frecuencias. El resultado en el dominio del espacio consiste en un realzado de los cambios bruscos de niveles de grises. De ahí que se use para detectar bordes. Las áreas de niveles de gris constantes o con poca variación se corresponden con las bajas frecuencias, que se suprimen. El más sencillo es el «Filtro ideal de paso alto», en el que

Ecuación 1

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{si } D(u,v) \leq D_0 \\ 1 & \text{si } D(u,v) > D_0 \end{cases}$$

Donde $D(u,v)$ es la distancia euclidiana de (u,v) al origen del plano de frecuencias. Este filtro suprime las frecuencias menores o iguales que un cierto valor D_0 , que se denomina frecuencia de corte. (González, 2004). De igual forma el *Filtro Butterworth de paso alto de orden n* se describe en la fórmula (2) donde $D(u,v)$ es la distancia euclidiana de (u,v) al origen del plano de frecuencias y D_0 es la llamada frecuencia de corte.

Ecuación 2

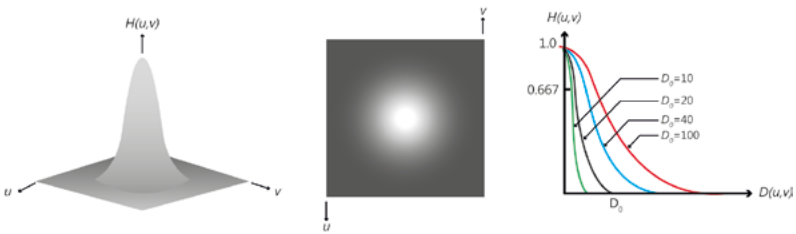
$$H(u, v) = \frac{1}{1 + (D_0 / D(u, v))^{2n}}$$

Ecuación 3

$$D(u, v) = \sqrt{(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2}$$

Debido a que, como se mencionó anteriormente, es más práctico trabajar con un espectro centrado (la frecuencia cero de la TDF en el centro), el centro del espectro está dado por $(u, v) = (M/2, N/2)$.

Figura 4. (a) Grafica de la Perspectiva de la función transformada
(b) filtro desplegado en una imagen
(c) Filtro radial evaluado en varias secciones



Fuente: González, 2004.

Filtros de banda (bandpass filter). Un filtro de banda atenúa las altas y bajas frecuencias, pero mantiene intactas las frecuencias que se encuentren en una banda determinada. En el caso del filtro ideal, sólo deja pasar las frecuencias que están

entre dos frecuencias de corte. Se puede obtener un filtro de banda multiplicando uno de paso bajo por uno de paso alto, en el que la frecuencia de corte del de paso bajo sea superior a la del de paso alto. El opuesto al filtro de paso de banda sería de «rechazo de banda» (bandreject o band-stop), en el que se atenúan las frecuencias de la banda, pero se mantienen la frecuencias fuera de ella (González, 2004).

Este tipo de filtro es de particular importancia debido a que su forma es fácilmente especificable y tanto su TDF como su TDF inversa son funciones Gaussianas reales.

Filtro Gaussiano Pasa-bajos

La forma de este filtro está dada por:

Ecuación 4

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2\sigma^2}$$

Donde $D(u,v)$ es la distancia al origen del punto (u,v) (asumiendo que se ha centrado la transformada). Como vemos, este tipo de filtro tiene su máximo en $(0,0)$ que es 1, y luego su valor comienza a disminuir según la función Gaussiana cuya dispersión (o apertura) está dada por la constante σ . Una expresión más familiar del filtro Gaussiano es aquella en donde aparece la frecuencia de corte D_0 :

Ecuación 5

$$H(u,v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$$

Cuando $D(u,v) > D_0$, los valores del filtro están por debajo del 60,7% de su máximo. Otra de las particularidades del filtro Gaussiano es que la TDF inversa de este tipo de filtro no presenta los efectos conocidos como *ringing*, algo que sí sucedía para el caso de los filtros Butterworth (para $n > 1$).

K- means algorithm

K-means es un prototipo basado en clustering, técnica sencilla que trata de encontrar un número específico k en clústers. Estos grupos están representados por sus centroides. Un centroide es típicamente la media de los puntos en el clúster

Este algoritmo es simple de implementar y ejecutar, relativamente rápido, fácil de adaptar, y común en la práctica. El algoritmo consta de dos fases: la primera fase consiste en seleccionar aleatoriamente los centros de k , donde el valor de k se fija de antemano. La fase siguiente consiste en asignar a cada objeto de datos al centro más cercano. Distancia euclidiana se considera generalmente para determinar la distancia entre cada objeto de datos y los centros de los conglomerados. Cuando todos los objetos de datos se incluyen en algunos grupos, volver a calcular el promedio de los grupos. Este proceso iterativo continúa hasta que la función se convierte en criterio mínimo. El algoritmo Kmeans funciona como sigue:

- Seleccionar aleatoriamente k objeto de datos de conjunto de datos D como centros de conglomerados iniciales.
- Repetir
- Calcular la distancia entre cada objeto de datos d_i ($1 \leq i \leq n$) y todos los k clúster central c_j ($1 \leq j \leq k$) y asignar los datos de objeto d_i al centro más cercano.
- Para cada grupo j ($1 \leq j \leq k$), vuelva a calcular el centroide
- Hasta que no cambia en el centro de las agrupaciones.

Resultados

En primer término se aplicaron las técnicas de preprocesamiento teniendo como resultado las siguientes. En intensidad estableciendo la escala de grises de $[0$ a $255]$ que 0 es igual a tener el color negro y estando en el otro extremo 255 el color blanco, la figura 5 muestra la distribución de la escala de grises en el histograma y su forma inversa de la imagen.

El realce de características tiene como objetivo la extracción de información del pixel y mejorar su visibilidad y su estructura, con el fin de poder aplicar, otras técnicas de procesado. También se emplea para reducir el efecto de bruma en la imagen y así facilitar la interpretación visual de una imagen, por incremento de la distinción aparente entre las particularidades de la misma. La técnica de mejoramiento de contraste se realiza mediante la ecualización del histograma, la figura 6 y 7 muestran las imágenes original invertida y aplicando la ecualización correspondiente, se observa con respecto a la imagen original un mejoramiento de la mamografía.

Figura 5. Histograma de la mamografía

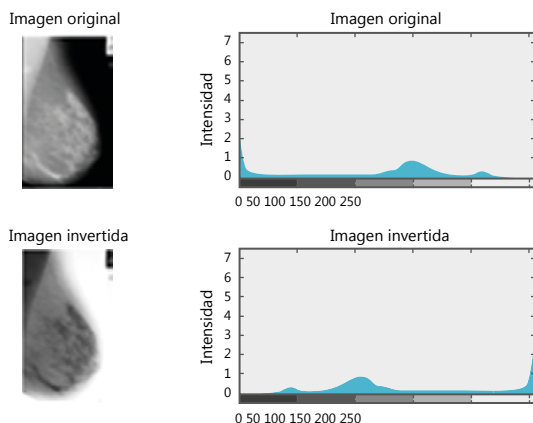
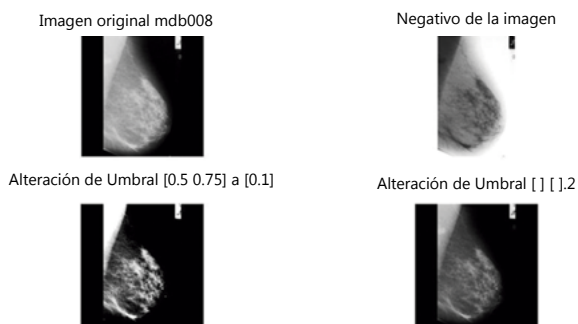


Figura 6. Realce de características

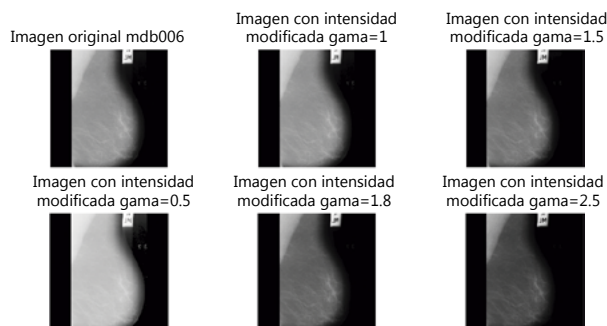


Durante este preprocesamiento se realizan técnicas no lineales, se distribuyen los pixeles con base en su frecuencia. En los diferentes tonos de gris son asignados a los valores de salida con mayor frecuencia en el histograma.

En la imagen resultante son evidentes las mejoras en intensidad promedio y contraste, lo que también se ve en su histograma. El incremento en contraste es debido al esparcimiento del histograma sobre la escala de intensidades. El incremento en la intensidad global es debido al hecho de que el nivel medio de gris del histograma de la imagen ecualizada es mayor que en la original. Aunque no se

produce un histograma plano, tiene las características de incrementar el rango dinámico y los niveles de intensidad de la imagen.

Figura 7. Contraste variando gama de la imagen



Un filtro puede verse como un mecanismo de cambio o transformación de una señal de entrada a la que se le aplica una función, conocida como función de transferencia, para obtener una señal de salida. Todas estas señales y funciones pueden ser discretas o continuas, y aunque en el tratamiento de imágenes se usan señales y funciones discretas. Las representaciones en el dominio de la frecuencia, en base a explicar cómo se repiten los píxeles de una imagen, consiguen representar la información de tal imagen. Esta representación es especialmente útil, ya que teniendo la frecuencia de repetición de los elementos que componen una imagen, se pueden apreciar y alterar directamente elementos como el ruido, los bordes, las texturas. En este primer acercamiento el filtrado se realiza para, dar un realce de características, la eliminación de ruido y mejoramiento de la imagen.

Una vez realizado el preprocesamiento se sigue la etapa de segmentación o agrupamiento de características. Así cuando se trabaja con una imagen digital se trata de extraer la semántica de la misma, o sea el significado de sus partes que directamente la identifican, por eso se hace el reconocimiento y separación de objetos con la descomposición de la imagen en partes con significados similares y agruparlos. En otras palabras la segmentación consiste en la identificación de regiones de objetos o límites, que se distinguen por sus cambios de contraste en escalas de grises con lo que facilitan la identificación de regiones con áreas homogéneas. La función del algoritmo kmeans es clusterizar la imagen en K grupos distintos, entiéndase por

clúster: agrupación de elementos similares. El proceso de clusterización (Clustering) consiste en la división de los datos en grupos de objetos similares (en nuestro caso particular esa similitud se hará entre los píxeles de la imagen). Para calcular la similitud entre píxeles se suele utilizar diferentes algoritmos de distancia: distancia euclídea, de Manhattan, de Mahalanobis. El nombre de kmeans (kmedias) viene porque representa cada uno de los clústers por la media (o media ponderada) de sus puntos, es decir, por su centroide. La representación mediante centroides tiene la ventaja de que tiene un significado gráfico y estadístico inmediato. En un primer acercamiento a la segmentación de regiones o límites se utiliza el algoritmo ya mencionado para el entendimiento del agrupamiento de píxeles con contrastes homogéneos.

Figura 8. Contraste variando gama de la imagen

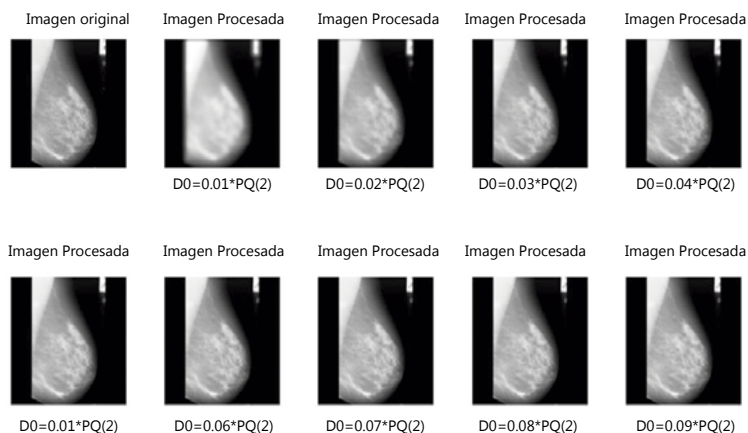
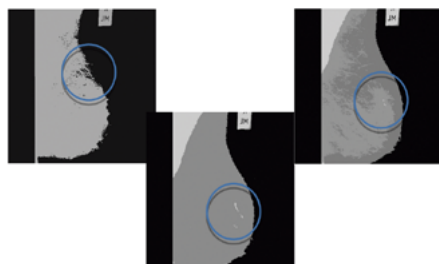


Figura 9. Agrupamiento mediante k-medias



La hipótesis central de este enfoque es que las estructuras de interés tienen una forma geometría repetitiva. Por lo tanto, se puede buscar un modelo probabilístico para explicar la variación de la forma de la estructura y luego cuando se segmenta una imagen se imponen limitaciones para tomar la imagen como el modelo elegido a priori. Esta tarea implica:

- La selección de los ejemplos de entrenamiento
- La representación probabilística
- La inferencia estadística entre el modelo y la imagen.

El estado del arte para la segmentación basada en el conocimiento implica la forma activa y los modelos de apariencia, contornos activos y una plantilla deformable y métodos basados en niveles.

Conclusiones

Durante el transcurso de la investigación fue necesario reforzar la etapa del planteamiento del problema, ya que es un caso de estudio en donde una gran variedad de investigadores han aportado al medio, sin embargo algo importante que se retoma en esta investigación es la parte del usuario final, que es el especialista o radiólogo, su forma de ver los sistemas CAD y las opiniones que emiten para el uso del mismo en donde se pueden encontrar una variedad de opiniones respecto al tema en cuestión, es por eso que al inicio de este artículo se mencionan dichas controversias.

Una vez analizando el tema se observó, que debido a una gran cantidad de propuestas donde varían los resultados utilizando metodologías diferentes, arribando al mismo objetivo detección de micro calcificaciones, a diferencia de esta investigación en donde su principal objetivo será la detección de anomalías, sin dejar a un lado la importancia que tiene el usuario final. Se define la tendencia de análisis en el dominio de la frecuencia para esta investigación. Ya que presenta un mayor grado de confiabilidad en la obtención de características naturales de la imagen.

En el primer acercamiento a la segmentación, se utilizó el algoritmo K-medias, el cual presenta una gran bondad en su estructura para la agrupación de regiones con similitud de homogeneidad para el agrupamiento de características en la detección de anomalías dentro de la mamografía. Cabe mencionar que se analizaron más algoritmos de segmentación para la determinación de uso de filtros en

la etapa de preprocesamiento, ya que esta ligada de forma directa con la etapa de segmentación, por lo que las pruebas deben ser relacionadas.

Se llega también la siguiente conclusión.

- En el preprocesamiento se selecciona el dominio de la frecuencia para obtener mayor información de la misma matemáticamente hablando
- El uso del algoritmo k-means como el algoritmo de detección en un primer acercamiento muestra sus ventajas en general, pero carece de profundidad en su detección.
- Los algoritmos se analizarán junto con el filtro de preprocesamiento para determinar cuál es más potente en la detección de anomalías.

Referencia

- Mohanalin, B., K. Prem Kumar, K. Nimal, M. Beenamol, 2010, «A novel automatic microcalcification detection technique using Tsallis entropy & a type II fuzzy index», *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 60, núm. 8, Elsevier. pp. 2426-2432.
- Wallet, B.C, J.L. Solka, C.E. Priebe, 1997, «A method for detecting microcalcifications in digital mammograms», *Journal of Digital Imaging*, vol. 10, núm. 3, supl. 1, Society for Imaging Informatics in Medicine, pp. 136-139.
- Ristori, E., 2000, «Aplicaciones de la segmentación interactiva y el análisis morfométrico de nódulos en mamografía al diagnóstico asistido por ordenador», tesis doctoral, Universidad de Málaga.
- Gonzalez, R.C, R.E. Woods y S.L. Eddins, 2004, *Digital Image Processing using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, Estados Unidos.
- INC, 2012, Instituto Nacional de Cancerología, en <<http://www.incan.salud.gob.mx>>, consultado en abril del 2012. [2]
- INEGI, 2011, «Geografía del cáncer femenino, como causa de muerte», comunicado 267/11, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México, en <<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Boletines/Boletin/Comunicados/Especiales/2011/Julio/comunica.pdf>>.
- Philpotts, L.E., 2009, «Can computer-aided detection be detrimental mammographic interpretation?», *Radiology*, vol. 253, núm. 1, octubre, Radiological Society of North America, pp. 17-22.
- Linguraru, M.G., K. Marias, R. English, M. Brady, 2006, «A biologically inspired algorithm for microcalcification cluster detection», *Medical Image Analysis*, vol. 10, núm. 6, diciembre, Elsevier, pp. 850-862.
- Rizzi, M., M. D'Aloia, B. Castagnolo, 2012, «Review: Health Care CAD System for Breast Microcalcification Clouster Detection », *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 32, núm. 3, pp. 147-156
- Dheeba, J., S.T. Selvi, 2012, «A Swarm Optimized Neural Network System for Classification of Microcalcification in Mammograms Deetection», *Journal of Medical Systems*, vol. 36, núm. 5, octubre, Springer, pp. 3051-3061.

- Jähne, Bernd, 1999, *Digital Image Processing: Concepts, Algorithms and Scientific Applications*, Springer Verlag, Secaucus, Estados Unidos.
- Nunes, F.L.S., H. Shiabel, C.E. Goes, 2007, «Contrast Enhancement in Dense Breast Images to Aid Clustered Microcalcifications», *Journal of Digital Imaging*, vol. 20, núm. 1, marzo, Society for Imaging Informatics in Medicine, pp. 53-66.
- MIAS, 2012, «The mini-MIAS database of mammograms», Mammography Image analysis society, en <<http://peipa.essex.ac.uk/info/mias.html>>, consultado en abril del 2012.
- Miller, I., J.E. Freund, 1986, *Probabilidad y estadística para ingenieros*, tercera edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- RSNA, 2013, «Mamografía», Radiological Society of North America, en <<http://www.radiology-info.org/sp/info.cfm?pg=mammo>>, consultado en 2012.
- Sameti, M., R.K. Ward, J. Morgan-Parkers, B. Palcic, 2009, «Image Feature Extraction in the Last Screening Mammograms Prior to Detection of Breast Cancer », *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol 3, núm. 1, febrero, Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 46-52.
- Liyang, W., Y. Yongyi, R.M. Nishikawa, 2009, «Microcalcification classification assisted by content-based image retrieval for breast cancer diagnosis», *Pattern Recognition*, vol. 42, núm. 6, Elsevier, pp. 1126–1132.
- Wolberg, W.H., W.N. Street, O.L. Mangasarian, 1995, «Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) Data Set», *UCI Machine Learning Repository*, University of California, School of Information and Computer Science, Irvine, Estados Unidos, en <[http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer+Wisconsin+\(Diagnostic\)](http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer+Wisconsin+(Diagnostic))>.

Negociación y consenso en políticas de desarrollo municipal

JORGE ARMANDO GONZÁLEZ GALVÁN

Resumen

La incorporación de actores al proceso de elaboración de las políticas públicas ha provocado el surgimiento de conflictos, debido a la gran cantidad de intereses que están asociados a los participantes. Esta variedad de intereses ha obligado a los gobiernos municipales a establecer mecanismos de negociación y consenso con los actores involucrados para lograr los acuerdos necesarios que permitan la aprobación de una política pública. A través del análisis de tres procesos de negociación suscitados en Puerto Vallarta, se intenta resaltar los factores que influyen en el establecimiento de acuerdos para aprobar una política pública.

Antecedentes

Las transformaciones que se han suscitado en los ámbitos político, económico, social y hasta tecnológico han impactado la relación entre gobierno y sociedad. En México estos factores han obligado a los gobiernos en sus distintos órdenes a reinventarse para dejar de funcionar como entes de corte autoritario y omnipresente, regidos por principios de relativa autonomía en la toma de decisiones y con preferencia por objetivos e intereses oligárquicos, y buscar convertirse en una estructura y procesos de toma de decisión más permeable a la influencia de factores y actores ajenos a su control.

Esta transición ha representado la incorporación de actores de la sociedad civil al proceso de elaboración de las políticas públicas municipales, lo que ha dado como resultado que, los gobiernos municipales hayan perdido el protagonismo como tomadores de decisión, pero también ha provocado que durante dichos pro-

cesos surjan conflictos, debido a la gran diversidad de intereses asociados a los participantes.

De tal forma que, para superar los conflictos, las autoridades municipales se han visto obligadas a establecer mecanismos de negociación y consenso con los actores involucrados para lograr los acuerdos necesarios que permitan la aprobación de una política pública, lo cual nos llevó a preguntarnos *¿Qué factores influyen en el establecimiento de acuerdos para la aprobación de una política pública?*

A fin de responder la pregunta de investigación, este documento considera como hipótesis que, tanto el proceso como el grado de acuerdo para la aprobación de una política pública municipal están determinados por los siguientes factores:

- 1) El liderazgo del promotor de la iniciativa, el cual, en un gobierno municipal, es definido como el peso político que se tiene en el cuerpo de regidores al momento de aprobación de la iniciativa. Esto equivale a determinar cuántas personas votaron en el mismo sentido que él, en las 5 votaciones anteriores.
- 2) El grado de corporativismo de los intereses representados por los actores políticos que apoyan la iniciativa. Con esto nos referimos a la cercanía, o afiliación directa que tienen organismos laborales, patronales, o cívicos con los regidores y se expresa, a través de membresías, reuniones de trabajo documentadas durante la gestión de estos y el contenido discursivo de sus declaraciones.
- 3) El debilitamiento de la disciplina partidista en la conformación de alianzas, y que se refleja en una trayectoria previa de votos diferenciados en el partido al que pertenece el líder de iniciativa y se determinará, por medio del análisis del patrón de votación.

Método *framework*

La investigación está orientada en demostrar que los regidores a la hora de tomar decisiones van a considerar los tres elementos establecidos en la hipótesis, así como los arreglos institucionales con el fin de construir los acuerdos que consideren más adecuados, dado el contexto general y la naturaleza de la decisión. De ahí que, para el análisis de la negociación y deliberación que surge durante el proceso de elaboración de la política pública, se haya implementado el método *framework*.¹

[1] Esta metodología es una vertiente del análisis de marcos (frame analysis), el cual está fundamentado en los trabajos de Goffman (1974) y en el que se intenta explicar el fenó-

Esta metodología que se desarrolló en el Centro Nacional de Investigación Social (NatCen, por sus siglas en inglés), es un proceso analítico de tipo matricial que se implementa a través de un conjunto de cinco pasos o fases que son distintas pero que están altamente interconectadas:

- 1) Familiarización se refiere al proceso de recopilación de datos que permite generar un panorama general de la diversidad, riqueza y profundidad de la información disponible.
- 2) Identificación de la estructura temática, a partir de los resultados de la etapa anterior, se ubican, organizan y clasifican los conceptos, puntos clave, o *keywords* en temas principales y secundarios.
- 3) Creación del índice, consiste en vincular los temas, subtemas y los datos a un sistema numérico.
- 4) Representación matricial de los temas. En esta etapa se construye una matriz de $n \times n$ donde los encabezados de las columnas corresponden a los elementos de análisis y las filas representan los temas y subtemas.
- 5) Mapeo de patrones y sus respectivas interpretaciones, esta etapa consiste en realizar un análisis minucioso en el que se rescaten los elementos más importantes que permitirán establecer un vínculo entre filas y columnas.

El desarrollo de la metodología por pasos la convierte en un proceso sistemático y disciplinado, con lo que se logra clasificar y organizar los datos en función a temas principales, a conceptos y a temas secundarios o emergentes que surgen durante la investigación.

Esta herramienta se adapta mejor a investigaciones que cuentan con preguntas específicas, que consideran un periodo de tiempo determinado, que tienen una muestra prediseñada, y que disponen de temas predeterminados (Srivastava y Thompson, 2009), además representar una guía para los investigadores que recién se incorporan al análisis de estudios empíricos (Rabiee, 20004).

meno social en términos de los conceptos o arreglos cotidianos. Estos son construcciones simbólico-interpretativas, las cuales la gente utiliza para darle significado a su realidad social y están compuestos de creencias, imágenes o símbolos que la gente comparte con la sociedad.

De tal suerte que, el método *framework* nos permitió documentar y sistematizar la información obtenida de tres procesos de negociación que se suscitaron durante la administración del priísta Javier Bravo (2007-2009), en el municipio de Puerto Vallarta, Jalisco. Los estudios de casos seleccionados son:

- 1) La decisión de aprobar un crédito por 450 millones de pesos;
- 2) La decisión de actualizar el plan de desarrollo urbano de centro de población y,
- 3) La decisión de cancelar la concesión por el manejo de los desechos sólidos a la empresa Envir Eau de México.

Los tres procesos de negociación fueron elegidos debido a que, cuentan con un proceso de votación, el cual representa la suma de expresiones individuales a favor o en contra de una opción predeterminada; además de que fue posible ubicar a los actores que participan en el proceso de negociación, así como sus respectivas posiciones e intereses.

Cada uno de estos casos muestra situaciones, contextos y procesos que ejemplifican el repertorio de alternativas de negociación que pueden usar los regidores municipales en medio del proceso de transición política en la que está inmerso el país, por lo que, el orden de presentación no está determinado por su aparición cronológica, sino al valor analítico que cada uno de ellos aporta, el cual está en función de los elementos considerados en la hipótesis propuesta.

Fundamentos teóricos

A partir de la implementación del método *framework*, se procedió a realizar el análisis de la información, el cual está fundamentado en diversos enfoques teóricos que permitieron entender el comportamiento de los actores que deben participar en negociaciones multilaterales y en contextos institucionales inciertos, entre los que destacamos el *policy networks* y el institucionalismo centrado en los actores.

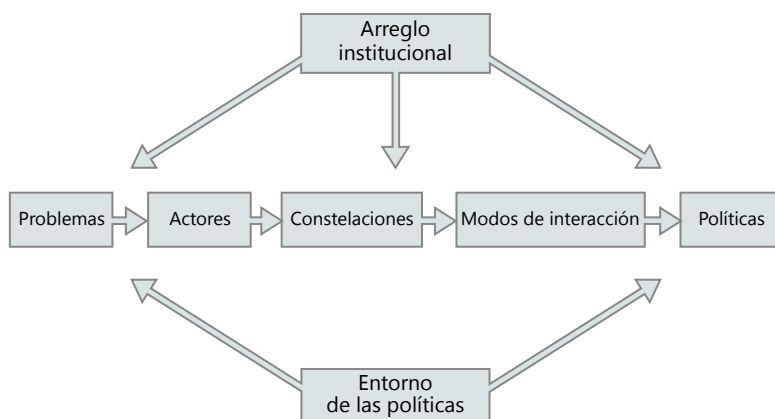
El enfoque del *policy networks* o también conocido como redes de política pública permite, según Zurbriggen (2003), estudiar las relaciones institucionalizadas de intercambio entre los grupos de interés y el Estado, para de esta forma entender cómo se producen los procesos de intercambio de recursos y de información entre los actores situados dentro de la red. Del mismo modo, este autor argumenta que

las redes de políticas nos permiten analizar las reglas, las rutinas informales, los vínculos organizaciones que guía estos intercambios, y que además limitan y constriñen los procesos, así como los estilos de interacción dentro de la red.

Por su parte, el institucionalismo centrado en los actores que fue desarrollado por Scharpf y Mayntz, aporta a través de un modelo, elementos que permiten comparar diferentes procesos de elaboración de las políticas públicas que incluyen participantes muy diversos y variados, explicando la posición estructural, las orientaciones de negociación e interacción de cada actor y los contextos institucionales en los que se mueven (Cortes, 2007), con lo que incrementa la comprensión de las condiciones sobre las cuáles se toman las decisiones y se elaboran e implementan soluciones a determinadas problemáticas, teniendo en cuenta el entorno, las relaciones de poder, las preferencias y las estrategias de los actores (Márquez, 2008)

Los elementos que se resaltan durante el desarrollo de este análisis son: las instituciones, los actores, la constelación de actores y los modos de interacción, los cuales serán descritos a continuación (Ver figura 1).

Figura 1. Esquema básico del modelo surgido del institucionalismo centrado en los actores



Fuente: Scharpf 1997 *Games Real Actors Play: Actor-Centered Institutionalism in Policy Research*. Boulder: Westview Press.

Las instituciones, en este modelo representan la principal fuente de información de los actores y de sus interacciones, pues definen criterios de membresía, recursos disponibles, la esfera de sus actividades legítimas, el alcance de sus representantes, inclusive sus principios rectores. Las instituciones no sólo operan como facilitadores de elecciones posibles, sino que también delimitan cómo debe evaluar el actor implicado en los resultados de tales elecciones, determinando las preferencias del actor respecto a las alternativas posibles (Scharpf, 1997). Sin embargo, las instituciones no influyen de una manera determinista sobre las decisiones, esto debido a que existen diversas posibilidades de acción que dejan un amplio margen para que los actores puedan elegir la más conveniente. Esto implica reconocer que los resultados de política no son un simple reconocimiento de reglas institucionalizadas o normas culturales, sino que es una acción que el actor desarrolla con una intencionalidad: la de obtener resultados preconcebidos.

El segundo elemento del modelo corresponde a los actores que se caracterizan por sus recursos o capacidades, que les proporcionan mayor o menor influencia en el resultado final, y también por sus percepciones de la realidad y sus preferencias, las cuales pueden ser más o menos estables, pero también sujetas a cambios en los que, como se ha visto, influye el contexto institucional (Scharpf, 1997). Este autor establece una clasificación de los actores que está determinada por la estructura institucional, la cual además de describir la existencia de estos y definir los criterios para lograr el éxito y evitar el fracaso, determina sus diferencias. De esta forma, los actores pueden ser clasificados en colectivos o corporativos, dentro de estos últimos, es preciso distinguir entre actores políticos (corresponde al grupo de individuos que, sus objetivos están influenciados por el marco institucional) y los actores socio-políticos (Bijlhout, 2008).

A partir de esta clasificación, el modelo incorpora el concepto de constelación de actores que hace referencia no sólo al conjunto de actores que participan en una determinada política, sino a sus posibles estrategias de acción con respecto a la misma, a los posibles resultados que tendrían lugar a partir de las diferentes estrategias de acción de los actores y, por último, a las preferencias o valoración de los actores con respecto a tales resultados posibles (Scharpf, 1997). Por tanto, en función de las estrategias que decidieran seguir cada uno de los actores involucrados en una política pública, se producirían diferentes resultados, los cuales serían valorados de manera distinta por ellos.

Finalmente se introduce un elemento que funge como lazo entre los dos elementos anteriores que se denomina modos de interacción. El modelo sugiere que dentro del proceso de elaboración de las políticas públicas se pueden generar múltiples formas en que unos actores se conducen y relacionan con otros. Estos modos de interacción están en gran medida condicionados por el contexto institucional en el que se desenvuelven, por lo que se pueden clasificar en: anárquicos, de redes, de asociación o de organización. Cada modo de interacción está regulado por un sistema de pautas institucionales para el uso de ese modo en cuestión, por lo que, de acuerdo con Scharpf (1997), estas influyen en las estrategias que finalmente, emplean los actores, pues, una vez que, estos se incorporan al proceso de elaboración de las políticas públicas, podrán interactuar en base a las siguientes dimensiones: acción unilateral, acuerdos negociados, votación por mayoría y dirección jerárquica (Ver tabla 1).

Tabla 1. Modos de interacción

	<i>Estructura institucional</i>			
	<i>Anarquismo</i>	<i>Redes</i>	<i>Asociación</i>	<i>Organización</i>
Acción unilateral	X	X	X	X
Acuerdos negociados	(X)	X	X	X
Voto mayoritario	-	-	X	X
Dirección jerárquica	-	-	-	X

Fuente: Scharpf 1997 *Games Real Actors Play: Actor-Centered Institutionalism in Policy Research*. Boulder: Westview Press.

De esta forma, la acción unilateral podría ocurrir en ausencia de una estructura institucional, sin embargo, para Bijlhout (2008) esta dimensión requiere un mínimo de racionalidad donde el actor sea capaz, al menos de, conocer sus opciones disponibles, sus costos y beneficios, aunque no conozca las de otros actores.

En cambio, el acuerdo negociado requiere la existencia de instituciones que sean capaces de garantizar el cumplimiento de estos acuerdos, pues existen diversos factores como, la información asimétrica que obstaculizan el establecimiento de estos acuerdos. Scharpf (1997) establece que, esta dimensión podrá desarro-

llarse en cualquier tipo de estructura institucional, por lo que, ésta afectará de diferente manera el resultado.

El voto por mayoría consiste en la aplicación obligatoria de las reglas que, fueron determinadas a partir de las opciones disponibles y que fueron elegidas por la mayoría de los actores. Esta dimensión implica que, sea necesaria su legitimación, debido a los diversos factores que prevalecen a la hora de tomar las decisiones.

Finalmente, la dirección jerárquica consiste en una imposición estatal a los actores con el fin de proteger el bienestar de la comunidad. En este caso, las preferencias de los actores y su respectiva información son ignoradas. Sin embargo, para evitar extralimitaciones en el ejercicio del poder por parte del Estado, se han establecido instituciones que, buscan frenar estas circunstancias.

El seguimiento a los diferentes modos de interacción que hacen los actores que se incorporan al proceso de elaboración de las políticas públicas, permite analizar la manera en que se desarrollan los intercambios y las negociaciones que afectan a las políticas, y la forma cómo resuelven los diferentes problemas políticos.

Resultados de la aplicación de los fundamentos metodológicos al análisis de los procesos de negociación de las políticas públicas

Para el análisis empírico de los procesos de negociación se consideró desarrollar una definición operativa de políticas públicas, la cual fue propuesta por Scharpf (1997), quien considera que, estas son entendidas como conjuntos de acciones realizadas, de manera intencional, por actores que se interesan en lograr resultados específicos.

Esta es una definición que implica la existencia de diversos involucrados en la formulación de políticas, a través de un proceso² dinámico que involucra las características del contexto, la negociación humana y la toma de decisiones, por lo que, es muy probable que, los resultados finales no se asemejen a las intenciones y planes originales (Aguilar, 2007).

Por su parte, la negociación se define como un proceso de comunicación en el que dos o más partes interesadas, buscan resolver conflictos o construir acuerdos

[2] Rose, 1969 (citado por Aguilar, 2007:26) establece que, las interacciones y los ajustes continuos que comporta el *policy-making* hacen que éste sea correctamente descrito como proceso, más que como una acción única, decidida de una vez por todas.

que satisfagan sus intereses individuales o colectivos; diferentes y comunes (Hernández, 2008).

El estudio y análisis de los procesos de negociación que se suscitaron en el municipio de Puerto Vallarta, se inició con la realización de una exhaustiva investigación hemerográfica, vía internet, en diarios de circulación local, estatal y nacional. La información obtenida de esta investigación fue ampliada y enriquecida por entrevistas realizadas a tres regidores (dos miembros del PRI y uno del PAN), así como a un exfuncionario municipal muy cercano al presidente Javier Bravo, debido a que, desde su posición podía seguir de cerca el desarrollo de las diferentes posturas e intereses que los regidores iban asumiendo a lo largo del proceso.

La investigación hemerográfica y la realización de las entrevistas forman parte de la primer etapa del método *framework* y permitieron construir un panorama general con el que se logró identificar la estructura temática, la cual consiste en tres grandes temas: 1) Actores, posiciones e intereses; 2) Proceso de negociación y 3) Consecuencias e implicaciones. Asimismo, se logró identificar para cada uno de los temas recurrentes una serie de categorías analíticas, que permitirán establecer los límites conceptuales en los que se desenvuelven las actitudes, las creencias y los comportamientos de los actores (ver tabla 1).

De igual forma, dentro de la segunda etapa del método *framework*, se logró determinar que los regidores del municipio de Puerto Vallarta, implementaron tres estrategias de negociación para resolver los asuntos que son analizados en este documento: corporativista, pluralista y de consenso.

A partir de la identificación de los temas centrales, sus respectivas dimensiones analíticas, así como, las estrategias de negociación, se procedió a organizar toda esta información en una estructura matricial (ver tabla 2).

Con los resultados obtenidos en las etapas anteriores, se procedió establecer vínculos entre los temas, las dimensiones analíticas con cada una de las estrategias implementadas, con el fin de determinar los patrones de comportamiento. La vinculación se realiza por medio de las características más relevantes que surgen durante el análisis de los procesos de negociación y permiten determinar los patrones de comportamiento, así como vislumbrar los elementos que intervienen en el establecimiento de acuerdos para la aprobación de una política pública (ver tabla 3).

Tabla 2. Estructura temática derivada del análisis del proceso de negociación de las políticas públicas.

<i>Temas</i>	<i>Dimensión analítica</i>
1. Actores, posiciones e intereses	1.1.- Representación de los grupos de interés
	1.2.- Institucionalización de la participación de los grupos de interés
	1.3.- Número de actores reconocidos
	1.4.- Uso de cohesión para la negociación
2. Proceso de negociación	2.1.- El ejercicio del liderazgo
	2.2.- Influencia en partidos
	2.3.- La construcción de voluntades de los participantes en torno a decisiones concretas.
	2.4.- Características del proceso de negociación
3. Consecuencias e implicaciones	3.1.- Análisis de la distribución de beneficios y de resultados

Tabla 3. Estructura matricial de los procesos de negociación en Puerto Vallarta.

<i>Temas</i>	<i>Dimensión analítica</i>	<i>Corporativismo</i>	<i>Pluralismo</i>	<i>Consenso</i>
1. Actores, posiciones e intereses	1.1.- Número de actores reconocidos			

Resultados de la aplicación de los fundamentos teóricos al análisis de los procesos de negociación de las políticas públicas

De acuerdo a los resultados de la investigación, los regidores de Puerto Vallarta evalúan la posibilidad de establecer un acuerdo para aprobar una política pública a partir del bagaje legal que regula e incentiva el área de la política que se busca modificar. En su decisión, toman en cuenta las señales que perciben del ambiente político y social que prevalece durante el proceso de elaboración de dicha política, de ahí que, los regidores hayan aplicado tres enfoques diferentes para resolver el dilema al

que se enfrentan a la hora de pactar un acuerdo de aprobación de alguna iniciativa. Estos son un proceso de negociación de tipo corporativista, uno de tipo pluralista y otro más cercano a la negociación multilateral convencional en el que desempeñan más claramente su papel de agentes, tal como se describe a continuación.

Corporativismo y financiamiento de obras públicas

Como parte de un intenso programa de actualización de la infraestructura del municipio, la gestión de Javier Bravo estimó que, Puerto Vallarta contaba con un rezago en obra pública de 2 500 millones de pesos, por lo que, se decidió presentar la propuesta de adquirir un crédito por 450 millones de pesos que sería pagado en cinco años, a través del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social.

Este préstamo se encuentra regido por los lineamientos establecidos en la Ley de Deuda Pública del Estado de Jalisco y sus Municipios que, en su artículo 5 establece que: «los municipios podrán contratar deuda directa, hasta por el monto neto del 10 % del importe total de sus respectivos presupuestos de egresos autorizados para el ejercicio fiscal en el que se contrate el crédito, sin considerar los recursos obtenidos de los mismos».

Asimismo, esta Ley establece en su artículo 13, que la aprobación de esta iniciativa requiere de las dos terceras partes de los integrantes del ayuntamiento, mientras que, el artículo 17 Bis establece que, «únicamente podrán ser afectadas en garantía de cumplimiento de obligaciones, o como fuente de pago, las aportaciones federales derivadas de los fondos que expresamente establece la Ley de Coordinación Fiscal Federal, siempre y cuando los financiamientos que den origen a las obligaciones se destinen a los fines previstos para los propios fondos.

En el proceso de negociación para resolver el asunto del crédito, los actores más relevantes en la promoción de esta iniciativa fueron Javier Bravo, presidente municipal, Rafael Yerena Zambrano, líder de la Confederación de Trabajadores de México (CTM), y la mayoría de los regidores. En contra de esta propuesta estuvo el regidor panista Miguel Preciado quien, en los tres casos analizados aquí, se mostró en contra.

El contexto social y político bajo el cual se desarrolló el tema del crédito por 450 millones de pesos, estuvo caracterizado por las inconformidades de los habitantes y por el aparente distanciamiento entre el presidente de Puerto Vallarta y el líder de la CTM, el cual provocó una división en las filas del PRI.

Tabla 4. Matriz para el análisis de los procesos
de negociación en Puerto Vallarta

Temas	Dimensión analítica	Estrategias		
		Corporativismo	Pluralismo	Consenso
Actores, posiciones e intereses	Número de actores reconocidos	Existen poco actores que determinan las posiciones presentadas por los negociadores.	Existe gran diversidad de organizaciones y grupos que compiten por influir en la toma de decisiones.	Es necesario construir o reconstruir quienes son los actores relevantes.
	Institucionalización de la participación de los grupos de interés	Se genera a través de la creación de cámaras de representación funcional o Consejos Económicos y Sociales.	Reconoce a los partidos políticos, las agencias gubernamentales y las organizaciones sociales.	Se acepta y tolera la participación de los distintos grupos que integran la sociedad.
	Representación de los grupos de interés	Existen organizaciones hegemónicas que, son legítimamente portadoras y representantes de los intereses.	Los partidos políticos, incorporan las demandas de la sociedad al sistema político.	Se reconoce y acepta la participación de los grupos sociales como representantes de grupos de interés.
	Uso de cohesión para la negociación	Se construye a partir del control que ejercen los líderes de los beneficios obtenidos en la negociación y del reparto de beneficios más amplios derivados de la disciplina corporativista.	Está en función de la de la capacidad de la comunidad de intereses y la capacidad de dialogo de los participantes en un grupo para sostener acciones dirigidas a procurar un beneficio colectivo.	Se basa en la posibilidad de encontrar una posición que puede ser defendida por un representante y en la posibilidad de mantener un dialogo abierto entre agentes y principal con el fin de poder participar en forma exitosa en procesos de negociación.

Proceso de negociación	Cómo se ejerce el liderazgo	Mediante una estructura jerárquica que, consta de reglas escritas y no escritas.	A pesar de que el Estado es quien toma las decisiones, surgen estructuras horizontales y diagonales.	Se busca influir en la negociación mediante la aplicación de recursos financieros, políticos, tecnológicos y personales.
	Influencia en partidos	Los partidos políticos que establecen vínculos con sindicatos, podrán influir en el proceso de elaboración de las políticas públicas.	Al ser el vínculo entre la sociedad y el Estado, los partidos políticos tienden a tener una participación más activo en el proceso de elaboración de las políticas públicas	Las organizaciones sociales tienden a utilizar los recursos disponibles para persuadir a los partidos políticos.
	Cómo se moldea la voluntad de los participantes	Los diversos grupos de interés, deben tener la capacidad de controlar ideológicamente a sus miembros para evitar el conflicto.	El poder está vinculado al control del comportamiento, por medio de los recursos.	La aplicación de habilidades personales, de recursos políticos, financieros y tecnológicos impacta la decisión de los actores.
	Característica del proceso de negociación	Negociación centralizada, la cual se caracteriza por la posición subordinada de los sindicatos.	Tiende a ser amplia y descentralizada	Debido a que, los actores reconocen cuál es su punto mínimo de beneficios a obtener, la negociación tiende a ser más abierta.
	Análisis de la distribución de beneficios	La asignación de los costos y los beneficios está claramente delimitada entre los grupos de interés.	Los costos y los beneficios no están claramente definidos.	La distribución de los costos y los beneficios está claramente definida.
Consecuencias e implicaciones				

Fuente: Elaboración propia.

Ambos personajes son reconocidos por su poder e influencia política dentro de las filas del PRI a nivel local. Esta fragmentación representaba una desventaja, a la hora de encarar el proceso electoral del año 2009, en el que se renovaría el total del ayuntamiento, por lo que, ambos personajes decidieron dejar de lado las diferencias que los dividían y unirse en beneficio del partido y de Puerto Vallarta.

La superación de estas diferencias refleja una de las características importantes del proceso de negociación en un enfoque tradicional de toma de decisiones corporativista, es decir, la búsqueda elitista de beneficios pues ambos personajes pusieron el interés del partido por encima de cualquier análisis de las implicaciones sociales y económicas que tendría la aprobación del crédito.

De igual forma, este proceso de negociación se caracterizó por su desarrollo centralizado, donde el presidente Javier Bravo que enfrentaba un ambiente político inestable, decidió presentar en un hotel del municipio, la iniciativa únicamente a los regidores priístas que tenían vínculos con el líder de la CTM.

Esta decisión le permitió controlar y reducir el conflicto que surgiría a la hora de presentar la iniciativa al pleno del ayuntamiento, así como establecer los acuerdos necesarios para su aprobación y de paso lograr la legitimación, mediante el respaldo del líder sindical.

La implementación de la estrategia corporativista derivó en un resultado inestable, no exitoso y que dejó a varios actores políticos confrontados, debido a la falta de un liderazgo sólido y la inestabilidad del contexto político y social, lo que obligó a generar beneficios, en el corto plazo, para los principales actores en detrimento de la población.

Incertidumbre institucional y parálisis de la planeación urbana

En 1997 durante la administración del panista Fernando González Corona se aprobó el Plan Municipal de Desarrollo Urbano (PDU), el cual, posteriormente tuvo tres intentos por adecuarlo a las nuevas circunstancias que vivía Puerto Vallarta.

El intento de actualización más reciente del PDU se dio a principios del año 2007, durante la administración de Javier Bravo, cuando aún regía la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Jalisco, sin embargo, debido a la inestabilidad política y social que prevalecía en Puerto Vallarta, no fue considerada en el orden día para su discusión y posterior aprobación. La segunda vez que se presentó la propuesta

de actualización, el Código Urbano del Estado de Jalisco había reemplazado a la Ley de Desarrollo Urbano del Estado de Jalisco.

La modificación del marco institucional introdujo cambios en los requisitos de votación, pues el artículo 82 de la Ley requería que dos terceras partes de los integrantes del ayuntamiento aprobaran cambios en los límites de población, por su parte, el artículo 119 del Código Urbano establecía mayoría absoluta de votos de los regidores.

En el Plan de Desarrollo Urbano se establecen las directrices de edificación y densificación de las diferentes zonas del centro de población en cuestión, lo cual tiene consecuencias en el desarrollo de las actividades económicas y en la localización de las personas, por lo que, el marco institucional contempla procesos de participación abiertos a la sociedad.

Tanto los actores políticos y sociales que participaron en el proceso de elaboración del plan de desarrollo urbano, coincidían en la urgencia e importancia de contar con un documento que «diera certeza al inversionista y al dueño del predio».³

Los actores más relevantes durante el proceso de negociación son el Presidente Javier Bravo como promotor de la iniciativa, el regidor priista Ramón Aguirre quien era cercano al presidente municipal y fue el impulsor de la segunda propuesta de actualización; así como la mayoría de los regidores, exceptuando al panista Miguel Preciado.

Por su parte, la sociedad a través del Colegio de Arquitectos y de Ingenieros Civiles, asociaciones de hoteleros, organizaciones ambientalistas, asociaciones de profesionistas, universidades locales, y el regidor panista expresaron su rechazo a esta propuesta, por considerarla un atentado⁴ para Puerto Vallarta.

El proceso de negociación que se realizó al interior del ayuntamiento y que derivó en la aprobación de una versión recortada del PDU, estuvo enmarcado dentro de una estructura pluralista de toma de decisiones, en la que se fomenta, reconoce y se tolera la participación de una gran cantidad de actores que buscan proteger sus intereses. Este intento de protección obligó a las diversas organizaciones sociales a establecer redes de cooperación y comunicación, lo cual permite que opere una estructura jerárquica no lineal, sino más bien horizontal y diagonal.

[3] Comentario vertido por un regidor panista durante la entrevista.

[4] Calificativo vertido por el grupo ecológico de Puerto Vallarta en un artículo que fue publicado en el diario noticiaspv, el día 24 de noviembre del 2009.

Sin embargo, en una estructura pluralista resulta sumamente complejo lograr un acuerdo en el que convergen todos los intereses que participan, por lo que, en el caso del PDU se generó una especie de pluralismo disfuncional en la medida que el proceso no logró producir un acuerdo lo suficientemente sólido como para aprobar un plan adecuado a las necesidades o para sostener el plan aprobado en el cabildo, debido a la incertidumbre institucional derivada del cambio de una Ley a un Código.

Esta disfuncionalidad se registra porque, en el marco institucional, gran parte de la participación está dirigida a la preparación del plan pero no a su aplicación, así como a las dificultades para crear incentivos a cumplir los acuerdos establecidos durante el proceso de negociación.

En busca de consenso en el caso del relleno sanitario de Puerto Vallarta

Derivado de los diversos y constantes señalamientos de la sociedad, autoridades y organizaciones ambientales respecto a la insuficiencia del tiradero municipal para albergar las 500 toneladas de basura que diariamente generaba el municipio de Puerto Vallarta, la administración anterior a Javier Bravo aprobó, días antes de terminar la gestión, concesionar por un lapso de 20 años, el servicio de la basura a la empresa Envir Eau.

Esta empresa presentó un proyecto que consistía en construir un relleno sanitario y utilizar el tiradero de la colonia Magisterio como terminal de transferencia. Sin embargo, debido a las diversas irregularidades encontradas en el proceso de asignación de este servicio, la administración de Javier Bravo decidió presentar la iniciativa de retirar la concesión a esta empresa.

Esta decisión se enmarca dentro del artículo 121 del Reglamento Orgánico del Gobierno y la Administración Pública del Municipio de Puerto Vallarta, en el que establece que para aprobar la concesión de bienes y servicios públicos municipales a los particulares, así como, la desincorporación de bienes del dominio público del Municipio, se requiere de mayoría calificada del total de los integrantes del ayuntamiento.

Mientras que, la Ley del Gobierno y la Administración Pública Municipal del Estado de Jalisco establece en los artículos 111, 112 y 113, los factores que determinarán la extinción, revocación y la prescripción de la concesión, siendo la

declaratoria de rescate el principal argumento del gobierno municipal, seguido de la suspensión del servicio de la basura por parte de la empresa.⁵

Durante el proceso de negociación se fueron sumando diversos actores sociales y políticos que respaldaban la decisión de cerrar el basurero de la colonia Magisterio sin embargo, el presidente municipal Javier Bravo y Martha Ruth del Toro, titular de la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (Semades) del estado de Jalisco, apoyaban la iniciativa de retirar la concesión. En cambio, Envir Eau, el Centro Universitario de la Costa (Cucosta), perteneciente a la Universidad de Guadalajara y organizaciones ambientalistas, mostraron su inconformidad a esta decisión.

El proceso de negociación que culminó con el retiro de la concesión del servicio de la basura a la empresa Envir Eau, transitó de un enfoque en el que las partes se centraran en buscar soluciones creativas de mutuo beneficio que satisfagan los intereses y necesidades de ambas partes a uno donde los actores ceden con el fin de evitar un conflicto mayor.

Esta transición se originó debido a la incorporación de los argumentos técnicos por encima de los aspectos políticos, la desconfianza surgida como consecuencia del doble discurso manejado por las autoridades municipales y estatales, así como los constantes señalamientos de corrupción en que incurrían aquellos y la empresa, lo cual hace que surjan diversos asuntos que también deben ser negociados,⁶ por lo que se complica el establecimiento de acuerdos.

A partir del análisis de este proceso de negociación se puede determinar que, el resultado que se generó es parálisis y escalamiento de conflictos, por lo que las partes optan por soluciones simplistas del tipo mitad y mitad, o perder-perder que dejan mucho que desear desde el punto de vista de la eficiencia (Hernández, 2010), por lo que mientras mayor sea la urgencia de encontrar un acuerdo, menor serán las probabilidades de encontrar una solución por consenso.

[5] Debido a las constantes clausuras que sufría el relleno sanitario de Santa Cruz de Quelitán, así como el basurero de la colonia Magisterio, por parte del ayuntamiento y de Semades, la empresa se veía impedida para ofrecer este servicio.

[6] Al principio, la negociación se centró en el cierre del basurero de la colonia Magisterio. Las condiciones sociales y políticas provocaron que, surgieran el asunto de la cancelación de la concesión, la construcción de un nuevo relleno sanitario (a pesar de existir uno), y la nueva empresa que ofrecería el servicio de recolección de la basura.

Conclusiones

Las transformaciones políticas, económicas, sociales y hasta tecnológicas han permitido que cada vez más actores se incorporen al proceso de elaboración de las políticas públicas y puedan influir en la toma de decisiones. Este cambio ha dado como resultado que los gobiernos municipales hayan perdido el protagonismo como tomadores de decisión, pero también ha provocado que durante dichos procesos surjan conflictos debido a la gran diversidad de intereses asociados a los participantes.

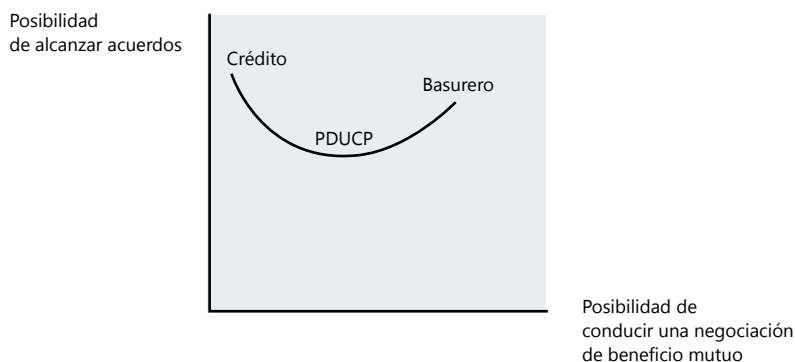
La existencia de una variedad de intereses ha obligado a las autoridades municipales a establecer mecanismos de negociación y consenso con los actores involucrados con el fin de lograr los acuerdos necesarios que permitan la aprobación de una política pública, la cual es entendida como conjuntos de acciones que son realizadas de manera intencional por actores que se interesan en lograr resultados específicos (Scharpf, 1997).

Mientras que, la negociación como elemento importante en el diseño de las políticas públicas se consideró como un proceso de comunicación en el que dos o más partes interesadas buscan resolver conflictos o construir acuerdos que satisfagan sus intereses individuales o colectivos; diferentes y comunes (Hernández, 2008).

Así pues, con el análisis de tres procesos de negociación ocurridos en Puerto Vallarta, este trabajo concluye que en una sociedad en transición donde existen múltiples arreglos institucionales que orientan las decisiones de los regidores o de cualquier tomador de decisiones, estos van a tomar en cuenta el liderazgo del promotor, el grado de corporativismo de los intereses, el debilitamiento de la disciplina partidista, y los arreglos institucionales para construir los acuerdos que consideran más adecuados, dado el contexto general y la naturaleza de la decisión. Durante la administración de Javier Bravo (2007-2009), los regidores de este municipio enfrentaron la necesidad de moverse entre un enfoque convencional de toma de decisiones fundamentado en estructuras de poder a uno basado en decisiones negociadas. Al enfrentar decisiones concretas, estos funcionarios no decidieron únicamente por el papel institucional que cada uno de ellos desempeñaba como actor político, sino con base en su capacidad para resolver el acertijo institucional que enfrentan en medio de la transición que vive el país, y en la complejidad del asunto en cuestión.

Lo observado en Puerto Vallarta sugiere que enfrentados a diversos arreglos institucionales, los actores locales tienden a recurrir más a soluciones de corte corporativista y negociaciones convencionales cuando existen beneficios directos y tangibles que repartir, lo cual paradójicamente incrementa la posibilidad de lograr acuerdos, y por otro lado el incremento en la complejidad de un asunto (PDU), conduce a menores posibilidades de lograr acuerdos (Ver figura 2). La implicación de este hallazgo es muy poderosa pues sugiere que ante problemas como incertidumbre institucional la dificultad para tomar decisiones y la presencia de intereses de tipo corporativo bien establecidos aumenta la probabilidad de que los ayuntamientos opten por atender solamente los asuntos más sencillos y dejen los más complejos sin resolver.

Figura 2. Efecto de incertidumbre institucional en estrategias de negociación y posibilidad de acuerdo



Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior sugiere que un regidor ante la existencia de este dilema opta por un enfoque corporativista si:

- La decisión es más sencilla, donde los beneficios y los costos son todavía más evidentes para el tomador de decisiones.
- Los beneficios potenciales para los representados pueden difundirse mejor con mecanismos de propaganda política.
- Los costos para los representantes no son tan evidentes.

Por tanto, para el caso del crédito por 450 millones de pesos, los regidores de Puerto Vallarta, durante el proceso de negociación, utilizaron una estrategia corporativista, la cual está establecida no tanto por el conjunto de leyes y normas que rigen en el municipio y en el país, sino que forma parte de las relaciones sociales y políticas que se establecen entre los actores participantes y los que cuentan con el respaldo de la costumbre, donde la distribución de los beneficios fue en el corto plazo entre los miembros del cabildo y el líder de la CTM.

Las relaciones sociales y políticas se encontraban inestables, por lo que el presidente se vio obligado establecer relaciones con los regidores de su partido, especialmente con aquellos que eran identificados como cercanos a la CTM con el fin de evitar que esta organización vetara la propuesta y de paso, lograr la legitimación de la iniciativa. El arreglo institucional tuvo peso y obligó este tipo de negociación debido a que la Ley de Deuda Pública para el Estado de Jalisco establece que se requiere la votación a favor de dos terceras partes del cabildo para la aprobación de este tipo de iniciativas.

Sin embargo, este tipo de estrategias generan desconfianza y malestar entre la población y los actores políticos, pues se tradujo en un resultado inestable, no exitoso y que dejó a varios actores políticos confrontados.

Por otra parte, en el proceso de elaboración del plan de desarrollo urbano de centro de población, se requiere la participación de todos los sectores de la sociedad, sin embargo, a pesar de que se reconoce, de manera universal, el derecho a participar, resulta sumamente complejo lograr un acuerdo en el que convergen todos los intereses que participan.

De tal manera que, lo que aquí ocurrió es una especie de pluralismo disfuncional en la medida que el proceso no logró producir un acuerdo lo suficientemente sólido como para aprobar un plan adecuado a las necesidades o para sostener el plan aprobado en el cabildo. Esta disfuncionalidad se registra porque gran parte de la participación está dirigida a la preparación del plan pero no a su aplicación, pero sobretodo tiene que ver con las dificultades para crear procesos de representación de intereses sólidos y estables.

En este caso, el pluralismo se volvió disfuncional debido que, la participación fue cooptada por intereses no democráticos, además que los participantes en el proceso no tienen incentivos a cumplir con los acuerdos establecidos a lo largo del mismo.

Finalmente, en el caso de la cancelación de la concesión a la empresa Envir, el ámbito político, social e institucional influyó para que los regidores transitaran de un proceso de negociación enfocado en los intereses a un enfoque en el que los actores ceden con el fin de evitar un conflicto mayor y, en el mejor de los casos, llegar a un justo medio. En este enfoque ninguna de las partes quedó satisfecha con el acuerdo.

Los factores que fueron identificados como elementos que fomentaron el tránsito de un enfoque ganar-ganar a otro donde ninguna de las partes quedó satisfecha fueron:

- La búsqueda de la justicia.
- Asimilaciones tendenciosas
- Canales restringidos de comunicación.
- Miedo a las pérdidas.

Además de estos factores es posible detectar que el proceso de solución al problema de la basura presentaba algunas deficiencias de origen que abonó para que los actores participantes se sintieran aún más insatisfechos, siendo las más importantes las siguientes:

- El ayuntamiento de Puerto Vallarta estableció una concesión de manera individual y plagada de irregularidades.
- Inicialmente en la solución al problema de la basura fueron considerados los aspectos técnicos y posteriormente se incorporaron los temas políticos.

La inclusión de los aspectos políticos fue considerada como un obstáculo para la solución al problema de la basura. Por consiguiente, el análisis de este caso nos demuestra que, la existencia de estos factores desde el inicio y con el desarrollo del proceso, lo que genera es parálisis y escalamiento de conflictos, por lo que las partes optan por soluciones simplistas del tipo mitad y mitad, o perder-perder que dejan mucho que desear desde el punto de vista de la eficiencia (Hernández, 2010), por lo que mientras mayor sea la urgencia de encontrar un acuerdo, menor serán las probabilidades de encontrar una solución por consenso.

Bibliografía

- Aguilar, V. L. F. (2007). *El estudio de las políticas públicas*, colección Antologías de política pública, vol. 1. Miguel Ángel Porrúa.
- (2007). *La hechura de las políticas*, colección Antologías de política pública, vol. 2. Miguel Ángel Porrúa.
- (2007). *Problemas públicos y agenda de gobierno*, colección Antologías de política pública, vol. 3. Miguel Ángel Porrúa.
- Berg, B. L. (2001). *Qualitative research methods for the social sciences*. Allyn and Bacon, Boston.
- Bijlhout, D. (2008). «A comparative research on the role and influence of Patient Associations in the Netherlands and Israel during the Health Insurance System Reform». Trabajo de grado (médico). Holanda. Universidad Erasmus. Disponible en: <<http://oathesis.eur.nl/ir/repub/asset/4609/BijlhoutD.pdf>>.
- Blom-Hansen, J. (1997). «A 'New Institutional' Perspective on Policy Networks» en *Public Administration*, vol. 75, núm. 4, pp. 669-693.
- Börzel, T. (1997). «What's so special about policy network? An exploration of the concept and its usefulness in studying European governance» en *European Integration online Papers*, vol. 1, núm. 16. Disponible en: <<http://eiop.or.at/eiop/texte/1997-016a.htm>>.
- Chacón, D. (2007). *Negociación y resolución de conflictos* en la serie *Formación política teoría y práctica*, vol. VI. Programa valores democráticos y gerencia política, Organización de Estados Americanos (OEA).
- Creswell, J. W. (1998). *Qualitative inquiry and research design: choosing among five traditions*. Thousand Oaks, Estados Unidos: Sage.
- Crinson, L. y Leontowitsch, M. (2006). *Principles of Qualitative Methods*. Disponible en: <<http://www.healthknowledge.org.uk/public-health-textbook/research-methods/1d-qualitative-methods>>, consultado el 13 de enero.
- Curzio, L. (1998). *Toma de decisiones*, colección Cuadernos de orientación metodológica, núm. 3. México, Instituto Federal Electoral. Disponible en: <<http://www.bibliojuridica.org/libros/libro.htm?l=516>>, consultado el día 18 de mayo del 2010.
- Dahl, R. (2007). «La toma de decisiones en una democracia: La Corte Suprema como una institución que crea políticas públicas» en *Revista Jurídica*, vol. 8, núm. 1, pp. 83-100. Universidad de Palermo, Argentina. Disponible en: <http://www.palermo.edu/derecho/publicaciones/pdfs/revista_juridica/n8N1-Sept2007/081Jurica06.pdf>.
- García Jurado, R. (2001). «Las formas del pluralismo» en *Estudios. Filosofía, historia y letras*, núm. 64-65, pp. 127-149. Disponible en: <<http://biblioteca.itam.mx/estudios/60-89/64-65/RobertoGarciaJuradoLasformasde.pdf>>.
- Gómez, J. (2008). «El cabildeo al Poder Legislativo en México: origen y evolución» en *Espiral, estudios sobre Estado y sociedad*, vol. XIV, núm. 42, pp. 97-124.
- Hernández, E. M, del Tronco, J. y Sánchez, G. G. (coords.) (2009). *Un congreso sin mayorías: Mejores prácticas en negociación y construcción de acuerdos*. México: Flasco.
- Hernández, O. E. (2008). «Interpretación y análisis de los procesos de negociación: aportes desde la ciencia política» en *Reflexiones*, vol. 87, núm. 1, pp. 87-98. Disponible en: <<http://www.reflexiones.fcs.ucr.ac.cr>>.
- Klijn, E. H. (1998). «Redes de políticas públicas: una visión general» en Kickert, W. J. M., Klijn, E. H. y Koppenjan, J. F. (eds.), *Managing Complex Networks: Strategies for the Public Sector*. Sage, Londres. Disponible en: <<http://revista-redes.rediris.es/webredes/textos/Complex.pdf>>.

- Lacey A. y Luff, D. (2007). «Qualitative Data Analysis». The NIHR RDS for the East Midlands/Yorkshire & the Humber. Disponible en: «file:///C:/Users/User/Downloads/9_Qualitative_Data_Analysis_Revision_2009%20(2).pdf».
- Maestro, B. G. (1985). Acerca del neo-corporativismo en *Revista de estudios políticos* (nueva época), núm. 48 (nov.-dic.), pp. 153-176. España. Disponible en: <<http://revistas.cepc.es/revistas.aspx?IDR=3>>.
- Parsons, W. (2007). *Políticas Públicas. Una introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. México: Flacso.
- Peterson, J. (2003). «Policy network» en colección Political Science Series. Institute for Advanced Studies, Viena. Disponible en: <http://www.ihs.ac.at/publications/pol/pw_90.pdf>.
- Petrizzo, P. M. (2004). «Redes e institucionalización: vinculando evidencias empíricas y redes políticas» en IV Mesa Hispana para el análisis de redes sociales (Portoroz, Eslovenia. 12-16 de mayo). Disponible en: <<http://revista-redes.rediris.es/webredes/ivmesahispana.htm>>.
- Porras Martínez, J. I. (2001). «Policy Networks o red de políticas públicas: una introducción a su metodología de investigación» en *Estudios sociológicos*, vol. 19, núm. 57, pp. 721-745 (sept.-dic.). México, Distrito Federal: El Colegio de México.
- Rendón, C. A. (2001). «El corporativismo sindical y sus transformaciones» en *Nueva Antropología*, vol. XVIII, núm. 59, pp. 11-30. México, Distrito Federal: Asociación Nueva Antropología.
- Ritchie, J. y Spencer, L. (2004). «Qualitative data analysis: the call for transparency» en *Building research capacity*, núm. 7 (feb.), pp. 2-4. Cardiff, Gales: Cardiff University. Disponible en: <<http://www.tlrp.org/rcbn/capacity/Journal/issue7.pdf>>.
- (2002). «Qualitative data analysis for applied policy research» en Huberman, A. M. y Miles, M. B. *The Qualitative researcher's companion*, págs. 305-330. Sage.
- Rodríguez, L. M. (2011). «Los procesos de toma de decisiones de las políticas públicas: una aproximación desde la Ciencia Política» en *Gobierno y administración. espacio académico virtual de estudio y reflexión sobre gestión y políticas públicas*. Disponible en: <<https://gobiernoyadministracion.wordpress.com/2011/06/14/los-procesos-de-toma-de-decisiones-de-las-politicas-publicas-una-aproximacion-desde-la-ciencia-politica>>, consultado el día 4 de febrero del 2010.
- Rull, L. (2002). «Redes de políticas públicas locales y el papel moderador de los medios de comunicación: una aproximación metodológica» en VII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Lisboa, Portugal, 8-11 oct. Disponible en: <<http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/clad/clad0043518.pdf>>.
- Scharpf, W.F. (1997). *Games Real Actors Play: Actor-centered Institutionalism in Policy Research*. Westview Press.
- Srivastava, A. y Thomson, S. B. (2009). Framework Analysis: A Qualitative Methodology for Applied Policy Research, en *Journal of Administration y Governance (JOAG)*, vol. 4. núm. 2. Disponible en: <http://joaag.com> <consultado el día 27 de diciembre del 2010>
- Tsebelis, G. (2006). *Jugadores con veto. Cómo funcionan las instituciones políticas*. Traducción de José Manuel Salazar, Fondo de Cultura Económica (FCE), México.
- Verduzco, C. B. (2000). El manejo de la basura en Guadalajara como problema regional: estrategias para la solución de un conflicto en *carta económica regional*, año 12. núm. 70. Ineser-Universidad de Guadalajara.
- Zurbriggen, C. (2003). Las redes de políticas públicas. Una revisión teórica. [En línea] Disponible en: <http://respaldo.fcs.edu.uy/enz/licenciaturas/cpolitica/sistemapoliticonacional3/IIG%20Instituto%20Internacional%20de%20Gobernabilidad.htm>

- (2007). El institucionalismo centrado en los actores: una perspectiva analítica en el estudio de las políticas públicas, en *Revista de ciencia política*, vol. 26, núm. 1. Santiago, Chile. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-090X2006000100004&script=sci_arttext
- (2004). Redes, actores e instituciones, en *Revista del Clad Reforma y Democracia*, núm. 30. Caracas, Venezuela. Disponible en: www.clad.org/portal/.../redes-actores-e-instituciones

Consumos mediáticos de la ciencia entre estudiantes

SILVIA DOMÍNGUEZ GUTIÉRREZ¹

Introducción

La variedad informativa hoy día es amplia y diversa. Más esta variedad de medios o fuentes de información y comunicación se estrechan a medida que las personas desean obtener información precisa. Tal es el caso de los estudiantes universitarios que ante dicha diversidad, optan por los medios que están más alcance acorde a sus necesidades.

En este breve reporte de investigación damos cuenta de cuáles son los principales medios tanto formales como informales que utilizan los estudiantes ya sea para realizar tareas escolares o por simple curiosidad, cuando requieren informarse sobre temas relacionados con la ciencia y conceptos afines a ésta, además de analizar las razones por las que acuden a dichas fuentes.

El estudio está dividido en 7 secciones, correspondiendo la primera a la presente introducción, seguida en una segunda parte de un contexto que sitúa este estudio en un ámbito específico. En la tercera hacemos algunas acotaciones a la problemática derivada de la investigación en curso, para pasar a los conceptos teóricos fundamentales que guían el trabajo en un cuarto apartado. La quinta y sexta partes corresponden –respectivamente– a las elecciones metodológicas y los principales resultados del estudio. Finalmente, en la séptima y última sección presentamos las conclusiones y algunas sugerencias.

[1] Doctora en Educación, Profesora Investigadora de tiempo completo en el Departamento de Estudios de la Comunicación Social (DECS-CUCSH) de la Universidad de Guadalajara. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. silvia_dominguez_g@hotmail.com.

Contexto

La presente es parte de una investigación que comprende diversas etapas la que iniciamos a finales de 2006 y que persigue, de manera global, estudiar las representaciones sociales de la ciencia, del científico y de la actividad científica en estudiantes de pregrado de los diversos centros universitarios tanto temáticos como regionales, pertenecientes a la Universidad de Guadalajara.

En un primer periodo se analizó a profundidad, en una pequeña muestra de alumnos, cómo los estudiantes informantes del Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS) han construido socialmente a la ciencia, a los científicos y a la actividad científica (Domínguez, 2007; Domínguez y Sánchez, 2009; Domínguez, 2012). Como parte de un segundo momento, damos cuenta con un mayor número de alumnos, acerca de los medios a los que acuden los jóvenes estudiantes cuando desean obtener información relacionada con temas científicos y la confianza depositada en ellos. Es en esta etapa en la que nos detendremos.

Los hallazgos de la primera etapa son fundamentales, ya que encontramos que existen representaciones sociales hegemónicas de la ciencia entre estos estudiantes. Es decir, la perciben de casi una sola manera, que aunque les evoque diferentes conceptos (que remiten tanto a su ubicación como disciplina, el estudio de algo, una actividad, los procedimientos más utilizados, los procesos empleados, así como los motivos de su existencia), sobresale la «finalidad» como el núcleo principal, y se entiende por esta los motivos, las razones, con atributos específicos que adjetivan y describen los diversos aspectos de la ciencia. Consideran, además, que existe casi exclusivamente una sola forma de hacer investigación (principalmente aquella que se realiza en las ciencias naturales, siendo algunos elementos básicos la experimentación y la comprobación).

Los estudiantes informantes imaginan al científico como principalmente un hombre, grande de edad, quien bien puede ser calvo o tener pelo alborotado, que usa anteojos, que porta la típica bata blanca, es muy inteligente, excéntrico, anti social, medio distraído y un tanto loco.

Por otra parte, creen los alumnos universitarios encuestados que el hacer investigación científica es una tarea muy difícil, es una profesión que no es bien pagada, implica mucho tiempo y dedicación y en parte por ello sólo muy pocos pueden dedicarse a ella, es decir, es para los más inteligentes que pueden pasar mucho tiempo absortos en sus experimentos.

Las carreras más cercanas a la ciencia, de acuerdo con estos alumnos, son la física, química, biología, matemáticas, medicina. Las ciencias sociales (como psicología, sociología, antropología, economía, etcétera) no están muy cercanas la ciencia.

Huelga decir que las mujeres estudiantes no se imaginaban siendo científicas (Domínguez, 2011; Domínguez, 2012), y consideran dicha actividad para ser realizada casi exclusivamente por los hombres.

De los hallazgos anteriores, colegimos que dichas representaciones sociales de la ciencia, del científico y de la actividad científica juegan un papel fundamental para futuras acciones, y en este caso, cuando hay que obtener información sobre un tema científico concreto, el tipo de búsqueda que se hace depende en gran parte de tales representaciones científicas, así como de las fuentes en que se indaga y la confianza depositada en ellas.

Problemática

Para la segunda etapa, hemos partido de que existen diversos medios a los que acudimos para informarnos sobre aspectos científicos, pero nos inquieta sobremedida conocer cuáles son los más buscados por los jóvenes universitarios. Sabemos que en la formación de las representaciones sociales de la ciencia influyen diversos medios o fuentes a las que hemos estado expuestos durante toda la vida; por ejemplo, en casa a temprana edad oímos hablar de la ciencia (¡en el mejor de los casos!), en la escuela desde la educación básica ya se aborda el concepto y no se diga en la educación media y superior. Por otra parte, los medios de comunicación tradicionales (como cine, radio, prensa, televisión), y los interactivos (como la Internet),² juegan un papel importante en la formación de estereotipos relacionados con la ciencia, la tecnología y aspectos afines.

En la universidad, a través de las diversas materias y cursos -cuyos portavoces principales son los profesores e investigadores-, los jóvenes estudiantes están constantemente abordando (aunque no de manera consciente o directa) a la ciencia y a la tecnología en sus diversas manifestaciones. Muchas veces depende del profesor el gusto o no hacia ciertas actividades incluidas las científicas; de allí que

[2] Manuel Castells (2009) dice que la Internet y otras comunicaciones inalámbricas no son medios de comunicación en el sentido tradicional, sino que más bien son medios de comunicación interactiva, aunque señala que las fronteras entre estos medios y las otras formas de comunicación son difusas. De allí que estemos considerando a la red como un medio más de comunicación

uno de los motivos sea conocer si los profesores son aún una fuente fidedigna de consulta para los alumnos cuando estos tienen dudas o inquietudes sobre temas o aspectos científicos.

Sabemos que estos son los medios más predominantes cuando los muchachos deciden obtener información ya sea para realizar sus tareas escolares o por el simple gusto de obtener información. Por lo tanto, para esta etapa hemos partido de varios cuestionamientos: ¿A qué medios acuden los jóvenes estudiantes del CUCS de la Universidad de Guadalajara cuando desean obtener información con temas científicos? ¿Por qué acuden a unos y no a otros? ¿A cuáles de estos les tienen más confianza? Y ¿Cuáles son las razones de ello?

Fundamentos teórico conceptuales

Partimos de la definición que da Sánchez-Ruiz (1992) de las mediaciones, concepto que aplicamos al de medios. De esta manera, las mediaciones las estamos tomando en un sentido amplio, esto es, como formas de conexión que determinan, más no de una manera absoluta, sino que limitan y posibilitan la existencia de un fenómeno a través de múltiples procesos.³ Es decir, no es un solo proceso el que determina o influye, sino varios interconectados. Entonces, incluimos dos principales medios o mediaciones en el consumo de la ciencia: la informal, por ejemplo los medios de comunicación, y la formal que es ejemplificada con las fuentes académicas o escolares. Hacemos énfasis en que los medios formales e informales han sido los predominantes en la obtención de información científica, más no los únicos.

De acuerdo a la teoría de las representaciones sociales (*cfr.* Moscovici, 1979), el contenido de una representación social está determinado por su inserción dentro de un contexto social global y a la vez particular, por lo que la cantidad y calidad de informaciones accesibles para representarse los objetos sociales varía en función de los niveles socio-culturales y económicos de cada grupo; de esta manera, la organización social –las estructuras sociales, económicas, políticas– al condicionar

[3] Sánchez-Ruiz (1992:76) explica que entiende por mediaciones «la otra cara de la moneda de la determinación», esto es, el establecimiento, más o menos estructural, de límites a lo posible en los procesos sociales, más no sólo limitando la acción humana, sino también posibilitándola. Por ejemplo, señala el autor que ningún fenómeno social es «determinado» o «causado» por un solo factor, sino por múltiples procesos que intervienen, que influyen, es decir, que «median» su existencia procesal. En este sentido, una «mediación» es una forma de conexión que determina, que limita, que posibilita.

las redes de información, condicionan también los contenidos de las representaciones sociales en los miembros de esa sociedad.

Por consiguiente, la percepción de la ciencia (en su sentido más amplio) está multideterminada por toda una serie de vínculos, redes y estructuras que delimitan una concepción determinada de ésta. Como la teoría de las representaciones sociales acota que la formación de representaciones sociales proporciona esquemas que favorecen a ciertas acciones (Abric, 2004), por consiguiente el tener cierta representación social de la ciencia va a influir en algún grado a qué medios acudimos para obtener información relacionada con temas científicos, así como la confianza que se deposita en los fuentes o medios de donde se obtiene dicha información. No obstante, sabemos que aunado a lo anterior, el desarrollo y avance de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) han facilitado el acceso, sobre todo a los jóvenes, para hacer búsquedas casi de manera inmediata y obtener información, aunque ésta no necesariamente sea del todo confiable, a expensas de clarificar el origen de la o las fuentes o medios de consulta.

Nos encontramos ante dos problemas, no obstante que cada uno de ellos sea de índole diferente, pero relacionados finalmente: los avances de la tecnología que están al alcance de la mayoría de la población (no de toda, pero por lo menos para una gran parte de la población urbana si), y que favorecen el uso (y abuso) de Internet; eso por un lado, y por otro, las representaciones sociales de la ciencia que emergen para decidirnos por cuáles de las fuentes creemos que son más confiables en el consumo mediático de información científica.

Aproximaciones metodológicas

Participantes. Para dar respuesta a los cuestionamientos planteados, en este corte temporal participaron 234 alumnos de 6 licenciaturas del Centro Universitario de Ciencias de la Salud de la Universidad de Guadalajara (Cultura Física y Deportes, Enfermería, Medicina, Nutrición, Odontología y Psicología). Los informantes eran estudiantes de los primeros semestres y de los últimos semestres, quienes fueron seleccionados a través de una muestra dirigida, esto es, participaron 20 estudiantes por cada una de las seis carreras de pregrado que conforman el CUCS de los primeros semestres, dando un total de 120 estudiantes, y 19 también de cada carrera, pero de los que estaban cursando los últimos semestres (114 alumnos). El intercambio de información se hizo en el horario de clases del turno matutino (de

las 9 a las 13 horas) previa autorización de los profesores, asegurándonos como criterios de inclusión, que los alumnos fueran de las carreras mencionadas en el momento de estar en el aula, y se cubriera el número de alumnos por salón.

Instrumento. Utilizamos un cuestionario compuesto por 27 ítems con opciones múltiples y preguntas abiertas, siendo algunas de estas: «De los siguientes medios, señala 5 a los cuales recurres con mayor frecuencia para obtener información científica. El número 1 es para el medio de donde obtienes mayor información y el 5 para el que obtienes menor información», ¿Cuáles son las razones porque acudes a estos medios? ¿A cuáles de ellos les tienes más confianza?, etcétera. Por cuestiones de espacio, presentamos en este trabajo solamente las respuestas más pertinentes al tema.

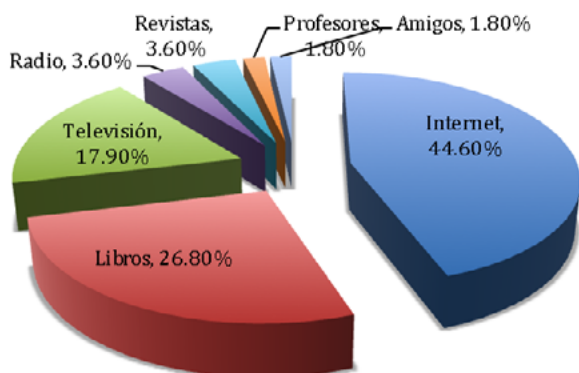
Técnicas de análisis. La información, para este corte parcial, fue codificada y trasladada a hojas Excel para la cuantificación de las frecuencias y la presentación gráfica de los resultados. Huelga decir que el análisis en esta segunda etapa fue triangulada con la primera fase de este estudio con el propósito de dar validez y confiabilidad a los resultados.

Resultados

Iniciamos con la información producida a través del cuestionamiento: ¿A cuáles medios acudes para obtener información científica? Para ello, se les solicitó a los estudiantes participantes que marcaran de mayor a menor las cinco primeras opciones. Aquí solo nos referiremos a las tres primeras ya que están más relacionadas con nuestro tema. Como primera opción, como observamos en el gráfico 1, los alumnos refirieron a:

Vemos que Internet es el puntero con 44.6% de las frecuencias; le secundan los libros con 26.8%; en tercer lugar la televisión con 17.9%; en empate tenemos a la radio y las revistas consideradas como científicas con un 3.6%, y finalmente a los profesores y amigos con 1.8%. Claramente vemos que Internet lleva la delantera en las preferencias, pero también los libros y la televisión figuran entre los primeros lugares. Son dos medios de comunicación, o fuentes informales (Internet y televisión) los más buscados por los alumnos, no obstante observamos que los libros -a pesar de que muchos de ellos son caros o difíciles de conseguir- son de los favoritos en la obtención de temas científicos por parte de los estudiantes.

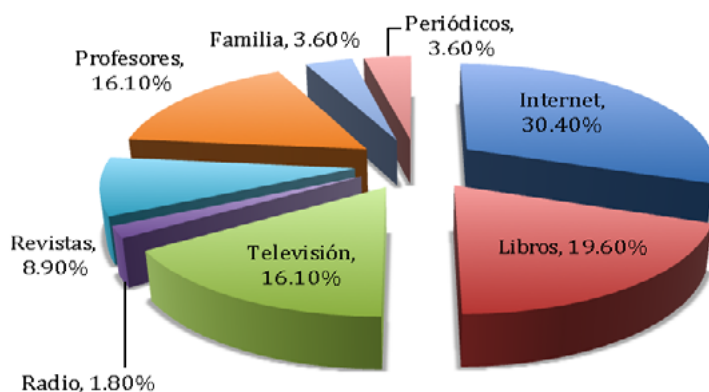
Gráfico 1. Primera opción en la obtención de información de temas científicos



Fuente: Elaboración personal.

La suma no da el cien por ciento exacto por el redondeo.

Gráfico 2. Segunda opción en la obtención de información de temas científicos



Fuente: Elaboración personal.

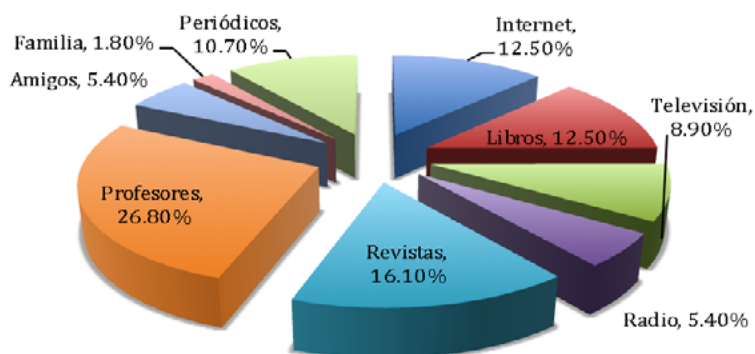
La suma no da el cien por ciento exacto por el redondeo.

Para la segunda opción, como se muestra en el gráfico 2, Internet sigue siendo la fuente más consultada; asimismo los libros se ubican en segundo lugar, y observamos que los profesores, se remontan en un tercer lugar, con un buen porcentaje de frecuencias al igual que la televisión, digamos que un empate técnico entre estos dos medios.

Luego, las revistas aunque en una cuarta posición, y en menor escala la familia y los periódicos, éstos últimos no habían aparecido en la primera opción. Aquí la radio es la última opción de consulta y los amigos quedan fuera de esta opción. Hay que resaltar que además de los libros, ya figuran los profesores como medios o fuentes importantes en la obtención de información sobre temas científicos, lo que es importante de considerar, como lo haremos más adelante.

Para la tercera opción visualizamos un panorama algo diferente, ya que son los medios formales los punteros, encabezados por los profesores, y enseguida las revistas. No obstante, Internet está ubicado en tercer lugar al igual que los libros como fuentes de consulta y en los periódicos se aumenta, aquí sí, la frecuencia. Baja la consulta de la televisión, y la radio y amigos aumentan, aunque la familia se ubica en la última posición.

Gráfico 3. Tercera opción en la obtención de información de temas científicos



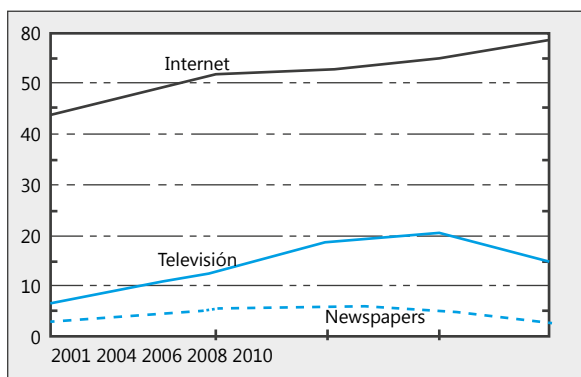
Fuente: Elaboración personal.

La suma no da el cien por ciento exacto por el redondeo.

Haciendo un balance de esta tercera opción, son los medios formales los que predominan, aunque no se quedan muy atrás los medios informales como fuentes en la obtención de información relacionada con temas científicos. Pero haciendo el balance general, son los medios de comunicación tradicionales, pero en particular de la Internet, que juegan un papel determinante como fuentes de consulta, en este caso particular, de información de tipo científica-académica.

Los resultados anteriores, principalmente del gráfico 1 y 2 guardan una estrecha relación con investigaciones realizadas en Estados Unidos. Por ejemplo, el reciente informe de la National Science Foundation (2012) reconoce que la situación de los medios ha estado cambiando en la última década, y aunque un buen número de norteamericanos opina todavía que la televisión es su fuente principal en la obtención de noticias, para la gran mayoría (ver gráfico 4) es Internet a la que acuden con mayor frecuencia en la obtención de información científica y tecnológica, además de ser también la fuente a la que mayor confianza le tienen.

Gráfico 4. Fuentes primarias en la obtención de información científica en EUA (porcentajes)



Fuente: National Science Foundation, 2012.

Es notorio el uso y confianza en la Internet en la búsqueda de información científica; el reporte concluye que es mayor entre los jóvenes y se incrementa de acuerdo al nivel educativo y al ingreso económico, a diferencia de los adultos que buscan y confían más en la televisión, aunque también esté decreciendo entre este

grupo etario. Por otra parte, es importante ver cómo la lectura de los periódicos, por lo menos en EUA, se ha mantenido –con ligeras subidas y bajadas– en un mismo nivel, a diferencia de nuestros estudiantes informantes, puesto que el periódico no figuraba como primera opción de búsqueda, sino que hace su aparición hasta la segunda y tercera opción, lo que también es un indicador de la poca lectura, entre los jóvenes alumnos, de este medio.

En el ámbito nacional también encontramos similitudes. Márquez y Tirado (2009) realizaron una investigación con 1 808 estudiantes entre 14 a 18 años de edad de la Ciudad de México de diferentes escuelas, a los que se les pidió dar su opinión sobre varios medios. El 85.8 % considera que la Internet «es una herramienta indispensable en la época actual» y 85.2 % cree que es «una verdadera revolución para la vida cotidiana». Se exploró también su aprendizaje sobre ciencia en los diversos espacios o medios a lo que los adolescentes reportaron que han aprendido más sobre ciencias en la escuela (97.7 %), en los museos interactivos de ciencia y tecnología (96.2 %), en los libros (92.8 %), en Internet (87.3 %), en revistas y periódicos (85.6 %), y en la televisión (83.4 %).

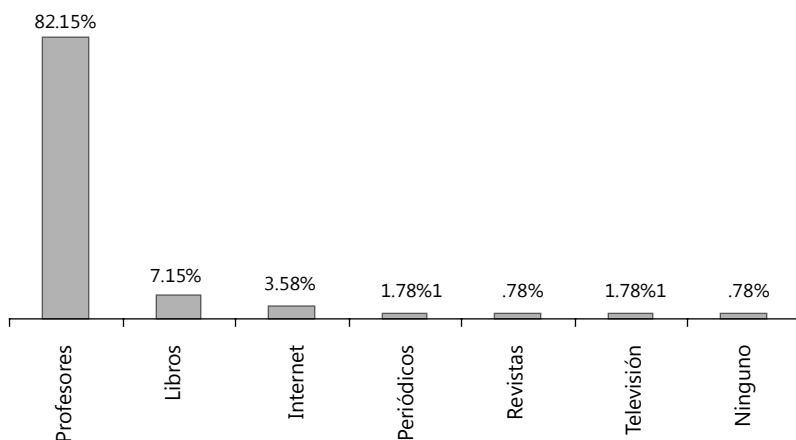
En el contexto local, precisamente con estudiantes del CUCS, Haro, Cabrera, Tornero, González y Carrillo (2011) llevaron a cabo una investigación para abordar el consumo cultural, el tiempo libre y los medios electrónicos en 610 estudiantes de este centro universitario, y encuentran que el 67.54 % utiliza de manera frecuente Internet, el 17.3 % lo utiliza siempre y sólo el 15.1 % lo hace de vez en cuando. Aunque los autores no abordaron por qué y para qué utilizan los jóvenes estudiantes del CUCS a Internet, los datos son reveladores y coinciden con nuestros resultados, así como con los hallazgos localizados en el ámbito nacional e internacional.

Pero veamos, ¿Por qué prefieren Internet los estudiantes encuestados? Es necesario hacer notar que aunque no todos poseen conexión a Internet en sus casas, algunas de sus respuestas oscilaron entre «porque es accesible», «rápida», «no tienes que salir de tu casa», «es barata en comparación con los libros», «la tienes a la mano», etcétera. Esto es, Internet resulta ser una innovación tecnológica muy ad hoc para los niños, jóvenes y adultos en esta era globalizada. Más como dice de Garay (2001:103) «Por supuesto que es necesario investigar a profundidad cómo y para qué usan la red de redes, ya que existen sospechas fundadas de que dicho instrumento puede impedir el desarrollo de la creatividad y el aprendizaje construc-

tivo. La aparición de páginas *Web*, donde simplemente se «baja» la información, se «pega» en un archivo personal y se le entrega la tarea al profesor, empieza a ser un fenómeno recurrente entre muchos estudiantes».

No obstante que la Internet sea la preferida en la obtención de información en temas científicos, los estudiantes dijeron *confiar más* en los profesores y luego en los libros; esto es, los medios académicos resultan ser de mayor confianza para los alumnos. Y vemos, también que de entre los medios informales, Internet sigue llevando la delantera, como se detalla en el siguiente gráfico.

Gráfico 5. ¿En quiénes confías más en la obtención de información de temas científicos?



Fuente: Elaboración personal.

Son los profesores, en una gran proporción, a los que más confianza les tienen los estudiantes informantes del CUCS comparándolos con el resto de las opciones. De alguna manera, esto es gratificante para los docentes, no obstante que en la primera etapa de este estudio los alumnos acotaron que tenían percepciones ambivalentes hacia éstos; es decir, o bien los profesores podían ser estimulantes para ellos en el seguimiento de alguna carrera científica o interesarse por la investigación, o bien, podían anquilosar inquietudes e intereses hacia la actividad científica.

En el reciente Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. México 2011 (Conacyt, 2011), se reporta que con respecto a la calificación de la percepción de las personas sobre el grado de respeto que les merecen algunas actividades, los profesores están ubicados en la octava posición (de 16 opciones), siendo las actividades más respetadas –en ese orden y en una escala de 1 a 10– las realizadas por los bomberos (9.1), las enfermeras (8.7), los investigadores científicos (8.5), los médicos (8.3) y los deportistas (8.2).⁴ Los profesores obtuvieron una puntuación de 7.9 y la última posición (la decimosexta) está encabezada por aquellas actividades realizadas por los oficiales de policía (5.9).

Pero comparando los datos de este estudio con el efectuado en 2009 (Conacyt, 2010), los profesores en aquel entonces estaban posicionados en el quinto lugar con 8.1 puntos (de 12 opciones); y si nos remontamos más lejos aún, en 2007 (Conacyt, 2008) los profesores estaban dentro de los tres primeros lugares (tercer lugar con 8.1 puntos) de 12 opciones.

El panorama anterior es un indicador –entre otros– de que a nivel nacional las actividades realizadas por los profesores ya no son de las que mayor confianza le inspiran a la población. No obstante, para cuestiones de consultas científicas, siguen siendo una prioridad entre los estudiantes informantes encuestados del CUCS.

Importa enfatizar que los profesores, aún con todas las posibles ambivalencias que pueden suscitar entre la población estudiantil, son fuentes –todavía– que están disponibles por lo menos en clase, en los pasillos o en los cubículos, para los alumnos. Inferimos, en parte, que si las representaciones sociales de la ciencia, del científico y de la actividad científica de los estudiantes de pregrado han sido construidas, en parte, por los profesores como representantes de los medios formales-académicos, entonces es comprensible que sea la fuente a la que más confianza le tienen.

Faltará incursionar sobre las representaciones sociales que tienen los profesores de los temas antes señalados, ya que si son una fuente confiable entre los

[4] Solo enunciarnos las 5 primeras. Pero en orden de mayor a menor respeto están incluidos: bombero, enfermera, investigador científico, médico, deportista, ingeniero, arquitecto, profesor, hombre de negocios, sacerdote o ministro de culto, artista, periodista, banquero, abogado, juez y oficial de policía. Los datos anteriores son producto de la sexta Encuesta Nacional sobre Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología en México (EN-PECyT 2011) incluida en el informe de Conacyt (2011). Dicha encuesta fue aplicada a 2947 personas mayores o igual a 18 años, en 32 ciudades de la República Mexicana.

alumnos y la ciudadanía en general, pero que también contribuyen a mitificar al científico y su actividad, entonces se hace necesario una reflexión sobre estos temas que en la mayoría de las ocasiones ni siquiera han sido contemplados.

Corolario

- Es alto el consumo científico en medios, principalmente informales (o de comunicación) particularmente de Internet, por parte de estos estudiantes.
- De hecho, prefieren la red, que preguntar a sus maestros (que también los tienen a la mano).
- No obstante, gratifica que confíen más en los profesores (¡todavía!) que en Internet.
- Sin embargo, no deja de preocuparnos que los profesores estemos siendo desplazados por las nuevas tecnologías.
- Lo que incide que se exija una preparación constante por parte de la planta docente y de investigadores para comunicar la ciencia.
- Así como de una constante actualización curricular en las Instituciones de Educación Superior (IES) ante los nuevos retos globales y locales —globales— en ciencia y tecnología.
- Es necesaria la continuación de la presente investigación, es decir, replicarla al resto de los centros de la Universidad de Guadalajara tanto temáticos como regionales, así como llevarla a cabo en instituciones privadas. Lo anterior con la finalidad de tener parámetros de comparación de las diversas Instituciones de Educación Superior en los ámbitos público y privado, y proponer programas de estímulos o de acercamiento a la ciencia en la mayoría de sus ámbitos.
- Es indispensable fortalecer las redes con diversos académicos, centros u organismos interesados en el desarrollo científico y tecnológico de México y el mundo.
- Realizar programas de popularización en el sentido que le da Paulo Freire a este término, esto es, como una herramienta de apropiación de la ciencia en la vida diaria tanto en las Instituciones de Educación Superior como en las medias y las básicas, y coadyuvar en el establecimiento de políticas públicas favorables en la comunicación de la ciencia y la tecnología.

Referencias bibliográficas

- Abric, J.C. (2004). Metodología de recolección de las representaciones sociales. En Abric, J.C. (coord.). *Prácticas sociales y representaciones*. México: FCE.
- Castells, M. (2009). Castells, M. (2009). *Comunicación y Poder*. Madrid: Alianza Editorial.
- Conacyt. (2011). Informe General del estado de la Ciencia y la Tecnología. México 2011. Recuperado de <http://www.conacyt.com.mx>
- Conacyt. (2010). Informe General del estado de la Ciencia y la Tecnología. México 2009. Recuperado de <http://www.conacyt.com.mx>
- Conacyt. (2008). Informe General del estado de la Ciencia y la Tecnología. México 2007. Recuperado de <http://www.conacyt.com.mx>
- De Garay, A. (2001). de Garay S., A. (2001). *Los actores desconocidos. Una aproximación al conocimiento de los estudiantes*. México: ANUIES
- Domínguez G., S. (2012). Domínguez G., S. (2012). *Significados de la ciencia en estudiantes universitarios. Aproximaciones a las representaciones sociales de la ciencia, del científico y de la actividad científica*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.
- Domínguez G., S. (2011). La imagen de la mujer en el ámbito científico. *Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis*, vol. 08, núm. 02. Florianópolis, Brasil.
- Domínguez G., S. & Sánchez.-Ruiz., E. (2009). Construcciones sociales de la ciencia de acuerdo con alumnos universitarios (pp. 145-177). En Romo B., R.M. (coord.) *Aproximaciones cualitativas a temas de Educación*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara/Prometeo Editores
- Domínguez G., S. (2007). La ciencia y los científicos a través de la mirada de los jóvenes universitarios. *Versión. Estudios de Comunicación y Política*, núm. 19.
- Haro-Jiménez, L.; Cabrera-Pivaral, C.; Romero-González, C.; González-Rojas, C., & Carrillo-Núñez, G. (2011). Factores sociodemográficos asociados al consumo cultural, del tiempo libre y de medios de comunicación en la educación superior de una universidad pública en Guadalajara. *Revista de Educación y Desarrollo*, 18, julio-septiembre.
- Márquez N., E. & Tirado S., F. (2009). Percepción social de la ciencia y la tecnología de adolescentes mexicanos. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Portafolio CTS, N° 2, Julio.
- Moscovici, S. (1979). El psicoanálisis, su imagen y su público. Buenos Aires, Argentina: Huemul.
- National Science Foundation. (2012). National Science Foundation. (2012). *Science and Engineering Indicators 2012*. Arlington VA: National Science Foundation (NSB 12-01).
- Sánchez-Ruiz, E. (1992). *Medios de Difusión y Sociedad. Notas críticas y Metodológicas*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

Multidisciplinary Design. Flat panels made of gypsum plaster and enriched with materials from the waste flow

FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ MADARIAGA¹

LUIS ALBERTO ROSA SIERRA²

Abstract

In this paper are reported some important research advances about the design process of a new Building construction system. The main system's element is a wallboard panel with a nucleus made of gypsum plaster, agave dry fibers and plastic particles. Natural fibers employed here come from a mexican plant called agave, an important raw material in the tequila industry. Fibers from the agave at the end of the tequila production process become in an almost useless waste. The plaster to produce the wallboard panels is a mixture of gypsum and water, it also includes different percentages of particles of expanded plastics, plastics are recovered from the urban wastes flow and after that they are reduced to small pieces, this process has been developed by the research team too. EPS is a bright, stiff, light material, produced from the union of little pearls of expansible polystyrene; packaging and building are the main uses for this plastic. Both recovered materials from the wastes flow, agave and EPS, cooperate to produce a competitive building element. Wallboards nucleus after manufactured were tested in labs. Today most of the project stages are close to be finished, included detailed panel information and a new support subsystem design. This project has been sponsored by the mexican government and carried out by a research group (CA 381) from the University of Guadalajara, Mexico. The research group includes industrial designers, engineers and also students from other Mexican universities. This paper focuses in information and data from the early research stages.

Key words: plastics recovering, multidisciplinary design, building construction elements

[1] Profesor-investigador titular. Universidad de Guadalajara, México.

[2] Profesor-investigador titular. Universidad de Guadalajara, México.

Introducción

El trabajo en su primera fase, fue desarrollado en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales (ETSEIB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en Barcelona, España, las fases posteriores del proyecto se llevaron a cabo en el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara (CUAAD), México. La investigación busca demostrar la Hipótesis que señala la viabilidad de fabricar elementos constructivos, partiendo de pastas de yeso y agua con agregados de residuos de plásticos expandidos de EPS; el yeso es un material abundante en la naturaleza, intensamente explotado en México ampliamente conocido en la industria de la construcción. El programa de trabajo del proyecto comprende tres etapas, dos de trabajo experimental (etapas I Y II) y una más, de diseño y desarrollo de producto (etapa III). La etapa I mostró la necesidad de incorporar un agente de refuerzo mecánico a las pastas, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas en especial sus respuestas a la flexotracción, de entre varias opciones se seleccionó a la fibra seca del agave tequilana weber, un residuo abundante de la industria del tequila y los resultados de esta incorporación se reportan en la Etapa experimental II.

Los materiales que se proponen y los elementos constructivos fabricados con ellos, deben de poseer características de funcionalidad y apariencia compatibles con las necesidades de la construcción. Se busca ofrecer la caracterización de los nuevos materiales formulados con residuos de EPS y residuos de fibra para su aplicación en la producción de muestras moldeadas como placas y su posterior aplicación en la construcción (etapa II). Finalmente se ha desarrollado un proceso de diseño y desarrollo de producto que propone la aplicación de los resultados de la investigación en un sistema constructivo para particiones interiores y techos falsos (etapa III), esta última etapa de investigación se encuentra en desarrollo y sus avances se reportan en otros escritos.

Hipótesis de trabajo

El proyecto de investigación atiende la siguiente hipótesis de trabajo:

Es posible y viable, la innovación en elementos planos para la construcción, fabricados con procesos sencillos y partiendo de pastas de conglomerantes hidráulicos comunes en la construcción como el yeso, con agregados de partículas de residuos de espuma de EPS y fibra seca de agave tequilana weber.

Objetivos generales

- 1) Estudiar una manera particular de reciclaje de residuos de espuma de EPS, que permita aprovechar en la fabricación de elementos constructivos, las propiedades que aún tiene ese plástico celular al momento de ser enviado al flujo de los residuos municipales.
- 2) De los resultados del objetivo anterior (1) , se diseñará un sistema constructivo basado en placas planas fabricadas con pastas de yeso adicionadas con partículas de plástico celular y refuerzos mecánicos de fibras secas de agave, estos dos últimos materiales proceden del flujo de residuos industriales.

Objetivos secundarios

- 1) Determinar las proporciones adecuadas de los componentes de el (los) nuevo (s) material (es) para ser usados en la fabricación de placas y paneles para la construcción.
- 2) Identificar las propiedades y características principales de los elementos constructivos propuestos para conocer sus cualidades y limitaciones.

Metodología

La metodología para esta investigación contempla tanto labores de investigación documental como de campo, además de una intenso trabajo experimental. La metodología se resume en tres etapas: (I) Antecedentes y etapa experimental I, (II) Etapa experimental II y, (III) Diseño y desarrollo de producto.

Antecedentes. Campos de acción del proyecto

La investigación preliminar del proyecto cubrió múltiples temas asociados al cumplimiento de sus objetivos, entre ellos: los residuos de plásticos, los plásticos en la construcción y el ecodiseño. Aquí sólo se describen algunas notas de importancia ya que los resultados más completos se muestran con amplitud en otras publicaciones [1].

Residuos de plástico

El consumo de plásticos se estimó para el año 2010 en 258 MT (millones de toneladas sin aplicaciones no plásticas) del cual se recuperó con diversas técnicas alrededor del 39 %, esto dejó en los vertederos una cantidad que supera las 157.3 MT de plásticos y que se consideran residuos sin atender [2]. Es de gran importan-

cia insistir en el desarrollo de tecnologías para el reciclaje de plásticos, tanto como para disminuir el impacto al medio ambiente de esos materiales como para abatir la pérdida de esos recursos.

De esta parte de la investigación se puede concluir, que las técnicas de reciclaje comunes producen plásticos reciclados con propiedades disminuidas en comparación a los materiales vírgenes, y que la industria del reciclado de plásticos se concentra en un pequeño grupo de resinas dejando sin atender algunas otras como las espumas [3].

Este trabajo busca cooperar a la disminución de residuos de plástico atendiendo a tres estrategias: una, por medio del mismo producto ya que podemos evitar o disminuir el uso de contaminantes en él, dos, promoviendo tecnologías limpias para su producción y tres, recuperando, reciclando y reutilizando los residuos industriales que pueden convertirse nuevamente en materia prima.

Plásticos en la construcción

Las obras de construcción con la mayor presencia de materiales plásticos son aquellas que se destinan a la vivienda, aunque los polímeros industriales también participan en obras de ingeniería civil de gran tamaño. Normalmente los materiales plásticos no se les usa como elementos estructurales primarios, pero cuando esta aplicación se llega a dar, generalmente se requiere reforzarlos con otros materiales como metales y fibra de vidrio. En cambio, la aplicación de los plásticos en los elementos secundarios, se da regularmente y de varias formas como por ejemplo en aislantes térmicos, acústicos y componentes semiestructurales.

Es posible observar el uso de plásticos en la construcción por aplicaciones, donde de las tuberías de plástico para la construcción son alrededor del 63 % del total. Por otro lado, sumadas las cuatro aplicaciones de espumas de plástico como PS, PUR y Urea, resultan en casi el 17 % del total en peso para el sector lo que muestra la importancia relativa que tienen los plásticos celulares en la construcción [4].

Los plásticos celulares resultan cuando a las masas de plástico se les adiciona con agentes de espumado durante su proceso de fabricación, de donde se obtienen productos con celdas o huecos y así la densidad de esos materiales es necesariamente menor que los plásticos sólidos. La cantidad tamaño y organización de las celdas o poros de los cuerpos obtenidos puede variar de acuerdo a los aditivos y

procesos empleados: las *espumas estructurales o espumas de piel integral* son materiales ligeros de construcción con una densidad alta comparada contra otras espumas la cual puede ir de 200 a 900 kg/m³. Las *espumas de núcleo o intermedias* también tienen diversas aplicaciones constructivas principalmente en elementos compuestos por las espumas y otros materiales que forman los paneles tipo sándwich, su densidad va de 50 a 200 kg/m³. Las *espumas ligeras* son materiales celulares poco aptas para soportar cargas ya que su volumen de poros usualmente va más allá del 90 % y su densidad aparente puede ir de 15 a 65 kg/m³. Su aplicación principal se da en la fabricación de placas de aislamiento térmico o acústico, estas últimas son los de mayor interés para la investigación, entre otros plásticos usados en la construcción.

Las espumas ligeras

En el diseño y la construcción hay tres fenómenos ondulatorios de interés: el del sonido, el de las vibraciones y el de las ondas electromagnéticas (luz, calor, rayos ultravioletas, etcétera); el primer tema mide variaciones en la presión del aire, el otro deformaciones en un sólido y el tercero mide variaciones en un campo electromagnético y si bien estos fenómenos son muy diferentes en ciertos aspectos tienen un comportamiento similar. Con muy raras excepciones, la barrera que se opone a la penetración de las ondas térmicas, sirve también para detener en alguna medida a las ondas sonoras y esta doble propiedad se presenta en algunos de los materiales celulares de plástico usados en la construcción. Esta investigación se ocupa en especial de las espumas de plástico relacionadas con el aislamiento al frío y al calor, es decir las espumas de aislamiento térmico. Las dos principales aplicaciones de las espumas ligeras (con densidades aparentes comprendidas entre 15 y 65 kg/m³) se dan como elementos de aislamiento térmico o acústico y como piezas para forjados. Los aislantes térmicos más usados en la construcción son las espumas de PUR y las de EPS.

Hacia la disminución del impacto de los productos al medio ambiente. El ecodiseño
Bajo el nombre genérico de *ecodiseño* se engloban diversos términos y filosofías, que muestran el objetivo común de la promoción de productos mejorados desde el punto de vista del medio ambiente. Autores como Simon (1996) y Rieradevall y Vinyets (2001) [5] introdujeron el concepto de *sostenibilidad* en el diseño del pro-

ducto, señalando al *diseñador* como protagonista del proceso. Simon señala dos escenarios para el DFE, uno estrecho entendido como sólo un ajuste de parámetros dentro del proceso de diseño de productos, y otro con una perspectiva más amplia y ambiciosa que involucra los factores políticos, económicos y sociales del diseño.

Hay una gran coincidencia en los investigadores alrededor del ecodiseño y esta es que se trata de considerar los aspectos del medio ambiente que se relacionan con un producto a lo largo de todo su ciclo de vida, al tiempo que se busca que las funciones propias del producto sean las más eficientes. La mayoría de los objetivos buscados por el ecodiseño sólo se pueden lograr si son incorporados al proyecto durante las primeras etapas en la concepción del producto esto es durante la fase de diseño y desarrollo de producto.

Antecedentes, trabajos de otros investigadores

Otros trabajos de investigadores que son de interés para la investigación son:

Fabricación de paneles con papel reciclado y partículas de madera de pino aglomeradas con yeso. En el trabajo desarrollado por Haselein *et al.*, [6] los paneles conglomerados con yeso resultan de la adición de partículas de madera y papel reciclado en una matriz de yeso prensada.

Desarrollo de materiales compuestos yeso-corcho para aplicaciones en la construcción. El trabajo muestra los resultados del trabajo experimental acerca de un material compuesto corcho – yeso. Hernández Olivares F. *et al.*, [7] parten de establecer que la compatibilidad entre el yeso y el corcho y su mezcla en diferentes fracciones, hace posible desarrollar nuevos materiales de construcción.

Yeso aligerado con corcho y su aplicación en paneles para construcción. El material expuesto en la patente ES 2 170 612 A1 [8] está compuesto principalmente por yeso y desechos granulados de corcho en diferentes proporciones (en relación a la masa del yeso seco). El material de yeso-corcho también está adicionado de fibra de vidrio y un fluidificante que mejora las propiedades mecánicas del material fraguado. Se indica en la patente que el material obtenido es un material sólido y estable donde una de sus principales características es su baja densidad entre 55 kg/m³ y 60 kg/m³ por lo que su aplicación más inmediata es en la sustitución de prefabricados para particiones interiores y trasdosados que ya existen en el mercado.

Gránulos de poliestireno en materiales compuestos de cemento. Laukaitis *et al.*, [9] del Instituto de Aislamiento de Vilnius Lithuania (Thermal Insulation Institute)

analizan el uso de residuos de EPS triturados, para ser usados como agregados de compuestos de cementos espumados para aplicaciones de aislamiento térmico.

Yeso

Yeso, se entiende aquí como el producto en polvo que se obtiene por calcinación y molienda de la piedra de aljez. El polvo de yeso está compuesto por varias fases semihidratadas o anhidras del sistema sulfato cálcico y agua, que tienen la propiedad al amasarse con agua, de endurecer a través de un proceso físico-químico que se conoce como fraguado y que transforma nuevamente en yeso a la pasta formada por el sulfato cálcico y agua. El material endurecido que resulta del amasado también se le conoce como «rehidrato» o «yeso rehidratado» debido que aunque su composición química es la misma, su estructura física es más porosa. Un término de uso común y de nuestro interés es de *escayola* que designa a un yeso semihidratado de especial pureza, fineza y blancura.

Agregados para yesos: Los agregados más frecuentes son los áridos inertes y los áridos ligeros que incluyen en la mezcla un volumen controlado de aire oculto lo que permite mejorar el aislamiento térmico del cuerpo fraguado. *Perlita expandida*, Se trata de un mineral volcánico con una estructura de pequeñas esferas blancas que contienen escamas de agua y aire atrapados. Expandida en autoclave a alta temperatura pierde el agua combinada y deja un árido ligero formado por microceldillas que contienen aire atrapado con un volumen de hasta veinte veces superior al original *Vermiculita exfoliada*, la vermiculita agregada aporta a los cuerpos de yeso mejoras de aislamiento térmico y un efecto retardador de absorción de agua.

Producción mundial de yeso

La actividad constructiva mundial ha venido creciendo de forma ininterrumpidamente en los últimos años y se espera que continúe en una tendencia similar en el futuro inmediato, lo que permite esperar que la industria del yeso mantenga su crecimiento a un ritmo cercano al 2 % anual. Aunque se observa consenso, se puede estimar que ha tenido en los últimos años un aumento constante y que la producción haya pasado los 110 millones de toneladas donde uno de los principales grupos de productores se sitúa en América del Norte y donde México ocupa un lugar de importancia.

Poliestireno expandido EPS

El poliestireno (PS) es considerado por muchos el material plástico estándar por excelencia debido a sus características de dureza y rigidez, propiedades dieléctricas, disposición para ser transformado con facilidad, y a aceptar aditivos, además de su bajo costo comparado con otras resinas similares.

El EPS (expanded polystyrene) es un material plástico celular rígido fabricado a partir del moldeo de perlas de poliestireno expandible que presenta una estructura celular cerrada rellena de aire. Un plástico celular se define como un plástico cuya densidad aparente ha decrecido sustancialmente por la presencia de numerosas celdillas dispuestas dentro de su masa. La fase gaseosa en un polímero celular es usualmente distribuida en vacíos o bolsas llamadas celdillas. Si estas celdillas se interconectan, el material es llamado de «celdillas abiertas». Si estas celdillas son discretas y la fase gaseosa de cada una es independiente de otras celdillas, es un material de «celdillas cerradas». Este es el caso de la espuma de EPS [10].

Por lo que corresponde a las aplicaciones del EPS estas se dividen, en proporciones casi iguales entre la industria de la construcción y la del envase y embalaje. En la *construcción* se le aprovecha fundamentalmente en varias funciones simples o en una combinación de ellas: como aislamiento térmico en diferentes cerramientos y como aligerante de algunos elementos constructivos y para la generación de formas como rellenos, núcleos y encofrados. Una parte muy importante de sus consumos se da en bloques transformados en planchas que se usan generalmente en aislamiento de muros y particiones, mientras otra aplicación del EPS mecanizado se usa para fabricar forjados. Estas dos aplicaciones suman el 74 % del total del consumo de la espuma en la construcción, mientras aplicaciones que involucran el uso de EPS en usos más especializados como son moldeados aporta el 26 %.

Dentro del área de *envase y embalaje* se observan dos principales usos para el EPS que en conjunto hacen el mayor consumo del área, que son la de Alimentación, y la de Embalaje de electrodomésticos y electrónica de consumo

También se ha atendido el estado que guarda la técnica para la gestión de residuos; con especial interés se han observado las técnicas para el reciclaje de materiales plásticos y del EPS.

La investigación que nos ocupa permitió definir el conjunto de normas relativas a las aplicaciones de interés. En el trabajo se privilegió el uso de las normas españolas, europeas y de los Estados Unidos.

Una vez establecido un cuerpo de información considerable acerca del tema, fue posible proponer para su evaluación a dos aplicaciones potenciales de los materiales compuestos. Estas dos aplicaciones (con varias fórmulas cada una) se han ensayado en las Etapas del proyecto I y II, esta son: una *placa constructiva* de usos similares a la placa de yeso estándar. Las placas propuestas están fabricadas de varios tipos de conglomerantes de yeso, escayola, o yeso cerámico, con inclusiones de residuos de espuma de EPS y recubiertas en su cara y dorso con cartón. Se les designa *placa* en ésta investigación.

También se propuso la aplicación de los materiales compuestos en un *panel de aislamiento térmico* para la construcción, de usos similares a los paneles de espuma virgen de EPS y que está formado por altas proporciones de residuos, a esta se le designa aquí como *panel*. Las aplicaciones de tipo panel NO se describen en este escrito.

Otros productos de investigación que resultaron de la búsqueda de antecedentes en la etapa experimental I, son:

Generalidades acerca de los procesos de amasado e impregnación de los residuos cortados de EPS en mezclas con escayola. Se obtuvieron además los primeros datos acerca de proporciones de los componentes de algunas mezclas, viscosidad de las pastas, tiempos de fraguado y endurecimiento, así como de las densidades aparentes obtenidas.

Evaluaciones de las técnicas disponibles para el corte de residuos de EPS.

Características generales de residuos de EPS cortados. La información completa de estos productos de investigación se ha reportado en otros trabajos [11].

Etapa experimental 1

Manejo y selección de mezclas

Una vez conocidos los potenciales materiales a estudiar, se procedió a la *Etapa experimental de manejo y selección de mezclas*. La etapa comenzó con el diseño de un árbol de combinaciones de los diferentes materiales organizados en grupos de trabajo que sumaron 68 piezas. Para disminuir la variedad de opciones las muestras fabricadas fueron sometidas a un proceso de selección compuesto de dos evaluaciones sucesivas; el proceso permitió eliminar las mezclas con características menos atractivas; entre ellas se descartó a las mezclas que contienen residuos cortados de EPS

quedando sólo las que incluyen residuos molidos. De las evaluaciones se obtuvieron dos nuevos grupos de trabajo conteniendo cuatro mezclas cada uno que se consideraron las mejores candidatas para cada aplicación de placa y de panel. De acuerdo a las 8 fórmulas seleccionadas se produjo una serie de muestras de cada una.

Además de las muestras con residuos de EPS, los investigadores fabricaron dos grupos de muestras que cumplieron como materiales de comparación. Estos grupos fueron: Muestras con las mismas fórmulas que aquellas seleccionadas, salvo que no contienen residuos de EPS. Estas muestras se denominaron *Probetas de referencia*. También se obtuvieron muestras de materiales estándar de placa de yeso laminado, estas se denominan *Probetas estándar o comercial*.

Todas las probetas con medidas de 12.5 x 300 x 400 mm fueron sometidas a los ensayos para su caracterización. Los resultados de las pruebas se resumen como sigue:

Caracterización. Aplicación de usos similares a la placa de yeso estándar

a) *Ensayo de absorción de agua por inmersión total de placa:*

UNE 102035/1M:2001 Placa de yeso laminado. *Métodos de ensayo. Capacidad de absorción de agua.* Determinación de absorción total de agua.

La resistencia de los conglomerantes usados tiene relación con la presencia de agua en su estructura porosa, de aquí la importancia de este ensayo en la investigación.

El ensayo comprobó la mayor tendencia a absorber agua de los nuevos materiales comparada con la absorción de las probetas de referencia (25 % o más) y las comerciales (2,5 % o más). Por otra parte la migración del agua absorbida hacia el exterior se da más rápidamente en los nuevos materiales, lo cual puede ser una ventaja para la recuperación de sus propiedades de resistencia.

b) *Ensayo de la determinación de la densidad laminar de placa*

UNE 102035/1M:2001. Placas de yeso laminado. *Métodos de ensayo.* Determinación de la masa por unidad de superficie

Se confirmó que es posible disminuir la densidad laminar en productos similares a placa de yeso laminado a través del manejo de mezclas ricas en agua o a través de la integración de residuos molidos de EPS.

El ensayo confirmó que a mayor proporción de agua en la mezcla y de residuos de EPS, corresponde una disminución de la densidad de la mezcla que se trate. De los resultados se han mostrado pérdidas de densidad que oscilan entre el 44,5 % y el 23,1 % entre los materiales que contienen residuos molidos de espuma y la placa de yeso estándar comercial.

c) *Ensayo de flexión de placa*

UNE 102035/1M:2001 *Placas de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Punto 9. Resistencia mecánica a la flexión. Procedimiento.

El ensayo evidenció la disminución de los valores de carga máxima a la flexión que experimentan los cuerpos de yeso o escayola cuando se han formulado con una alta proporción de agua o se les ha agregado con residuos molidos de EPS, o cuando suceden los dos casos.

De las probetas formuladas con residuos de EPS, la mezcla seleccionada (clave núm. 49, en la nomenclatura usada entonces) supera con 11 % el mínimo requerido por la Norma correspondiente a placa de yeso laminado (210 N). De las otras mezclas, dos logran acercarse al 90 y 83 % del valor requerido.

d) *Ensayo de reacción al fuego de placa*

UNE-EN ISO 11925-2:2002. *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: Ensayo con una fuente de llama única*. (ISO 11925-2:20) Madrid, 2002

El ensayo evidenció las conductas positivas de reacción al fuego de los materiales con residuos de EPS en las proporciones que se manejan aquí. De esta manera, en la investigación se proponen nuevos materiales de interés para la construcción por su reacción al fuego. Esta mejoría es producto de la naturaleza del conglomerante, la alta porosidad que resulta de su formulación y de la manera como se da la combustión en el EPS, que se produce de forma aislada al encontrarse envuelta en conglomerante y que en última instancia, al consumirse deja en el cuerpo de yeso una nueva celda, que puede cooperar a la mejor respuesta al fuego de la placa ensayada.

e) *Ensayo de resistencia al impacto de placa*

UNE 102035/1M:2001 *Placa de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Resistencia al impacto.

De la comparación de los tres grupos de materiales durante el ensayo, los formulados con residuos de EPS son los más débiles al impacto. La prueba que consistió en la medición de la huella producida por la caída de una bola de acero sobre la cara de la probeta, señaló que las mezclas con residuos de EPS mostraron huellas que exceden hasta en un 15 % a los diámetros permitidos en la Norma Española de Placas de yeso laminado.

Un factor que se evidenció en las dimensiones y formas de las huellas sobre materiales con residuos de EPS durante el ensayo, fue la heterogeneidad en la distribución de los residuos en la probeta y que es resultado probablemente de su producción artesanal.

Etapa Experimental 2

Ensayos a muestras de placas de yeso aligeradas con residuos molidos de EPS y reforzadas con fibras secas de agave.

Antecedentes

Los resultados positivos que se describen en párrafos anteriores (Etapa I, punto 3) alentaron la continuación de los trabajos ahora en la Etapa 2, ahora aplicando materiales y equipo disponibles en México.

Los objetivos de la Etapa 2 son:

- 1) Determinar las proporciones adecuadas de los componentes de origen mexicano del (los) nuevo (s) material (es) para ser usados en la fabricación de placas para la construcción.
- 2) Identificar las propiedades y características principales de los elementos constructivos propuestos, ahora fabricados con materias primas mexicanas para conocer sus cualidades y limitaciones.
- 3) Valorar la integración como refuerzo mecánico de fibra seca de agave a las placas constructivas en cuestión

Fabricación de nuevas probetas

Las nuevas probetas que se ensayaron fueron fabricadas por medio de vaciado en moldes abiertos. Algunas placas contienen una cara suave y otra menos tersa. Las imperfecciones en el dorso de ciertas muestras se debieron a la presencia de impurezas del conglomerante, a la flotación de perlas de residuo de EPS en las capas superiores del núcleo de yeso y a los residuos de fibra de agave que generaron algún grado de conflicto al prepararse las pastas. El proceso completo se describe en otras publicaciones [12].

De manera simultánea a los nuevos materiales propuestos también se ensayaron por comparación contra placas estándar y placas fabricadas por los investigadores usando únicamente con yeso comercial nacional.

Interpretación de fórmulas de probetas utilizadas en los ensayos.

Para un mejor manejo de las placas durante la etapa 2 se diseñó una nueva nomenclatura y se les asignó una clave según sus componentes y porcentajes de los mismos. Cada fórmula generalmente escrita de manera condensada, formada por tres elementos que corresponden a la cantidad de los componentes separados por un signo (Tabla 1). En todas las muestras se toma el 100 % de yeso para las relaciones de la fórmula, esto es: todas las cantidades mostradas en agua, EPS y fibra seca de agave surgen en relación a la cantidad en peso de yeso. Los datos completos de este proceso se describen en otras publicaciones [13] aquí se omiten por razones de espacio. En la tabla 1, se muestra de manera general la nomenclatura empleada en la etapa 2 y los componentes de esas muestras, donde se omiten las proporciones.

Tabla 1. Claves y componentes de placas. Etapa experimental 2

<i>Clave</i>	<i>Componentes</i>
T	Yeso + agua
YM	Yeso+agua+EPS
YF	Yeso+agua+fibra de agave
M, YEP/E, YEP, YEV	Yeso+agua+EPS+fibra de agave

Caracterización Etapa 2.

Aplicación de usos similares a la placa de yeso estándar

Los ensayos practicados a nuevas muestras corresponden con aquellos practicados en el primera fase experimental, lo que permite establecer una comparación entre ambos trabajos de laboratorio. Los ensayos y un resumen de ellos se describen a continuación:

a) *Ensayo de absorción al agua por inmersión total de las placas*

UNE 102035/1M:2001 *Placa de yeso laminado. Métodos de ensayo*. Capacidad de absorción de agua. Determinación de absorción total de agua.

La estructura porosa del yeso, su tendencia a absorber humedad y el impacto que tiene todo ello en las propiedades mecánicas de los productos fabricados con ese conglomerante, han evidenciado en nuestro proyecto la necesidad de practicar ensayos de absorción de agua. Este ensayo tiene por objeto la determinación de la masa de agua absorbida por las probetas sumergidas en condiciones y plazos controlados.

Este ensayo busca conocer la masa de agua porcentual absorbida en las placas en periodos y condiciones determinados, esto con el fin de evaluar las cantidades de agua que pueden absorber las probetas y la velocidad en la que recuperan su peso de inicio. Este ensayo busca conocer la masa de agua porcentual absorbida en las placas en periodos y condiciones determinados, esto con el fin de evaluar las cantidades de agua que pueden absorber las probetas y la velocidad en la que recuperan su peso de inicio. Los resultados muestran el peso inicial de las placas acompañado del peso en diferentes periodos de tiempo después de haber sido retiradas del agua.

De los datos obtenidos podemos decir que las probetas fabricadas para el proyecto que sólo contienen en su composición EPS, agua y yeso tienden a absorber una menor cantidad de agua, *comparadas con aquellas que contienen fibra de agave*, misma que es desechada en un periodo más corto en comparación a las placas que contienen agave y donde la pérdida es agua es mucho más lenta.

Tabla 1. Resultados del grupo YM (EPS, yeso y Agua)
en el ensayo de Absorción de Agua

<i>Nomenclatura</i>	<i>Wseco (g)</i>	<i>W10min (g)</i>	<i>W24hrs (g)</i>	<i>W48hrs (g)</i>	<i>W10 %</i>	<i>W24 %</i>	<i>W48 %</i>
YM 5.1	210.00	320.33	291.00	274.00	52.54	38.57	30.48
YM 5.2	210.00	310.00	280.00	262.00	47.62	33.33	24.76
YM 5.3	212.67	317.33	314.67	274.00	49.22	47.96	28.84
YM 6.1	226.00	331.33	311.00	278.67	46.61	37.61	23.30
YM 6.2	216.00	320.00	295.00	276.33	48.15	36.57	27.93
YM 6.3	191.00	306.00	282.67	262.00	60.21	47.99	37.17
YM 7.1	219.00	314.00	290.00	265.00	43.38	32.42	21.00
YM 7.2	221.00	313.67	292.00	264.00	41.93	32.13	19.46
YM 7.3	230.00	322.00	299.67	276.00	40.00	30.29	20.00
Promedio					47.74	37.43	25.88

Tabla 2. Resultados de las placas YEP
(Fibra de agave, EPS, yeso y Agua)

<i>Nomenclatura</i>	<i>Wseco (g)</i>	<i>W10min (g)</i>	<i>W24hrs (g)</i>	<i>W48hrs (g)</i>	<i>W10 %</i>	<i>W24 %</i>	<i>W48 %</i>
YEP 1.1/ E YF50%/YC50%	233.00	381.00	348.67	321.00	63.52	49.64	37.77
YEP 1.2/ E YF60%/YC40%	209.00	357.00	327.00	306.00	70.81	56.46	46.41
YEP 2.1/ E YF50%/YC50%	212.00	366.00	339.00	320.00	72.64	59.91	50.94
YEP 3.1/ E YF50%/YC50%	259.00	412.00	387.00	362.00	59.07	49.42	39.77
YEP 3.2/ E YF60%/YC40%	269.00	438.00	407.67	383.67	62.83	51.55	42.63
YEP 4.1/ E YF50%/YC50%	287.00	422.00	396.00	369.00	47.04	37.98	28.57
YEP 4.2/ E YF60%/YC40%	222.00	317.00	295.00	270.00	42.79	32.88	21.62
YEP 5.1/ E YF50%/YC50%	258.00	378.00	351.00	332.00	46.51	36.05	28.68
YEP 5.2/ E YF60%/YC40%	286.00	421.00	394.00	371.00	47.20	37.76	29.72
Promedio					56.94	45.74	36.23

Después del análisis estadístico podemos concluir que el ensayo de inmersión total de las placas presentó resultados poco favorables en las placas que contienen en su composición fibra, con un peso promedio mayor (36 %) en comparación a su peso inicial, medido 48 horas después de la inmersión. Mientras en las placas que sólo contienen EPS, yeso y agua, el peso promedio se encuentra alrededor de un 26 % arriba del peso de inicio (48 después de inmersión). Concluimos que las placas con un porcentaje de absorción de agua mayor es el grupo que contiene fibra YEP .

b) *Ensayo de Densidad Laminar. Norma utilizada UNE 102035/1M:2001*

El ensayo se ha basado en la Norma Española UNE 102035/1M:2001 Placas de yeso laminado. Métodos de ensayo. Determinación de la masa por unidad de superficie. Este ensayo consiste en la determinación de la masa por unidad de superficie de cada probeta. Se busca establecer una comparación entre las masas de los nuevos materiales que se estudian con placas que no contienen agregados y otras placas de yeso disponibles en el mercado.

La densidad laminar, es la cantidad total de la masa de una placa en función a su espesor (12.5 MM +1,0) expresado en (kg/m²). Los resultados confirmaron que los grupos de placas compuestas únicamente por Yeso y agua (clave T) presentaron las mayores densidades.

La serie de muestras que incluyen partículas de plástico (YM) presentó una menor densidad laminar que aquellos de la clave T, esto gracias a las cantidades de residuos de EPS en su composición.

Por su parte las muestras del grupo, que tiene agregado de fibra en su composición (YEV) reportaron masas favorables con relación al grupo T pero mayores que el grupo YM (sin fibra), de aquí se puede concluir que la composición que se necesita para obtener los resultados deseables para el proyecto se obtienen de un balance de ambos grupos: si bien, el EPS disminuye la densidad de los nuevos materiales hasta en un 26 %, la fibra en placas disminuye esa ventaja.

c) *Ensayo de Flexión de las placas*

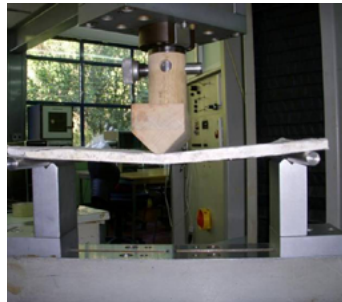
El ensayo se ha basado en lo señalado en la Norma UNE 102035/1M:2001 Placas de yeso laminado, métodos de ensayo. Resistencia mecánica a la flexión. El ensayo consiste en determinar el valor de rotura máximo de flexo tracción de las placas con núcleo conglomerante de yeso. El objetivo es establecer una

comparación del comportamiento bajo éste tipo de tensión entre tres grupos de muestras: placas de yeso obtenidas del mercado, placas moldeadas de yeso y agua únicamente y finalmente, muestras que contienen yeso enriquecidas con residuos molidos de espumas de EPS y residuos de fibra de agave.

El equipo y los ensayos se llevaron a cabo a través de un convenio de colaboración con el Instituto de Celulosa y Papel del Centro Universitario de Ciencias exactas e Ingeniería (CUCEI) de la Universidad de Guadalajara, México, y bajo la supervisión del Dr. Francisco Javier Talavera y su equipo.

El ensayo se aplicó en una máquina universal de pruebas (Máquina modelo Karl Frank- MOD- 81 50000 N 5 Toneladas, 0.5 mm/min.) que tiene un desplazamiento vertical. El banco de pruebas instalado en la platina móvil de la máquina soporta la probeta y la eleva presionando contra un rodillo fijo hasta que se produce la fractura (figuras 1 y 2).

Figuras 1 y 2. Aplicación de ensayo a la flexotracción



Las probetas ensayadas se agrupan así:

- Placas de yeso estándar.
- Placas con núcleo de yeso sin residuos de plástico (T); con cara y dorso de cartón gris reciclado.
- Placas con núcleo de yeso que incluyen residuos de espuma de EPS, con cara y dorso de cartón gris reciclado (YM).
- Placas con núcleo de yeso que contiene residuos de espuma de EPS y fibra seca de agave tequilana weber (YEP). Las placas cuentan con cara y dorso de cartón gris reciclado.

Resultados

De los resultados de los ensayos se comprueba que el grupo de placas que presentó menor resistencia a la flexión fue el grupo de placas fabricadas con yeso, residuos de EPS y agua (YM). Esto se atribuye a la presencia de partículas de plástico las cuales pueden promover el inicio de la fractura en la matriz del núcleo de las placas. Por otro lado el grupo de placas con agregados de fibra de agave (YEP) presentó una resistencia mayor a la flexotracción, esto confirmó que los agregados de fibra de agave favorecen la resistencia a este tipo de esfuerzos.

d) Ensayo de reacción al fuego.

Este ensayo simula un ataque de llama pequeña sobre los bordes y el centro de una probeta, en el cual la importancia radica en conocer cómo se propaga el fuego además de la caída del material inflamable.

La reacción al fuego se refiere a la capacidad de ignición y a la combustibilidad de un material, más que a su disposición para dar paso o resistir al fuego. La prueba de reacción al fuego tiende a ser de menor escala y complejidad que la prueba de resistencia al fuego y se llevan a cabo en materiales sometidos a condiciones similares de su uso final.

Los comportamientos usuales de las placas de yeso ante un ataque de fuego pueden verse modificados por la presencia de agregados de residuos de espuma de EPS o fibra de agave en su núcleo, y dada la aplicación como materiales de construcción que se pretende para estos nuevos materiales, resulta importante observar cómo inciden las perlas de plástico en la mezcla ante un ataque de esa naturaleza.

Las Euroclases son una nueva clasificación de reacción al fuego de los materiales de construcción, más completa y precisa que la actual clasificación española de cinco clases (M0, M1...M4). Las Euroclases clasifican en siete clases principales (A1, A2, B, C, D, E y F), complementadas en su mayor parte por tres clases de desprendimientos de humos (Si) y otras tres subclases que dependen del grado de caída de gotas o partículas incandescentes (di). De esta manera se pasará de una clasificación con sólo cinco niveles, a una clasificación de 40 posibles y que se señalan en la Norma UNE-EN 13501-1:2002.

Las Euroclases A1, A2, B: Son clases de productos no combustibles o poco combustibles. Son los productos más seguros contra el fuego.

Las Euroclases C, D y E: Aplica para productos que se les califica como combustibles. Son los más peligrosos en su comportamiento al fuego.

La Euroclase F: Son productos que no satisfacen ninguna de las categorías anteriores.

Las Euroclases además se complementan con otras calificaciones: *Opacidad de humos (Si)*

Producción de gotas o partículas inflamadas (di)

Para las Euroclases, los métodos de ensayo necesarios para simular tres niveles de desarrollo de un incendio son:

- Un objeto puntual de llama pequeña
- Un objeto en llamas, como puede ser un mueble
- Un fuego plenamente desarrollado

Los métodos armonizados para evaluar la reacción al fuego de los materiales de construcción se basan principalmente en las siguientes normas:

Ensayo a la pequeña llama UNE-EN ISO 11925-2:2002

Ensayo del SBI (Single Burning Item) Ensayo de reacción al fuego UNE-EN 13823:2002

Ensayo de horno de no combustibilidad (Horno cilíndrico) UNE-EN ISO 1182:2002

Ensayo de poder calorífico superior (PCS) o de Bomba calorimétrica UNE-EN ISO 1716:2002

Procedimiento:

- 1) Inspeccionar la probeta.
- 2) Medir el espesor que se expone a la llama.
- 3) Colocar la probeta sujeta por el soporte y en posición vertical con ayuda de los sargentos.
- 4) Encender el quemador en posición vertical y permitir la estabilización de la llama. Ajustar la altura de la llama a 20 mm usando un Vernier.
- 5) Dependiendo del tipo de ensayo:
 - a) Si la prueba se dirige al borde expuesto de la probeta.

- b) Si la prueba se dirige a la superficie de la probeta.
- 6) Poner en marcha el cronómetro al momento de que la llama hace contacto con la probeta. Aplicar la llama 30 s y después retirar suavemente el quemador. La duración total del ensayo fue de 60 s; si la llama persiste en la probeta, en ese momento se ha de apagar.

Resultados

De los resultados se obtiene que las placas comerciales reportaron un patrón de afectación al fuego similar a las placas elaboradas por los investigadores, lo que confirma que el material usado como recubrimiento en el proyecto (papel gris) ofrece buenos resultados.

El grupo de placas con Yeso, Agua, Fibra y EPS que presentó un comportamiento desfavorable en los bordes fueron las de la serie YEP con un promedio de 10 cm² de área afectada, mientras que las que resultaron más favorables para éste ensayo fueron las placas YEP/E que su área afectada es 50 % menor que las mencionadas anteriormente. Esto nos habla de la importancia no sólo de los porcentajes de fibra, sino que también teníamos que considerar el análisis de los residuos de las destilerías de donde su obtuvieron los residuos ya que practican procesos de molienda diferentes los cuales producen residuos también diferentes, su elección puede ser un punto que influya en los resultados de todos los ensayos.

De las pruebas que se hicieron a las placas sin recubrimiento se pudo observar algunas variantes que solo afectó a ciertas muestras y que incrementó ligeramente el promedio de las placas que se ensayaron sin papel. Solo se presentó un caso notorio en el que la placa YEP 1.2/E YF60%/YC40% presentó una área de afectación al doble que cuando se realizó con recubrimiento.

e) *Ensayo de Resistencia al impacto de las placas*

La absorción de energía por un material como el nuestro, sujeto a cargas rápidas o de impacto, se relaciona con el tamaño y la geometría de la probeta, con la velocidad con que se aplica la carga y las condiciones de temperatura y humedad en las que se realiza el ensayo. El ensayo se ha adecuado en lo señalado en la Norma UNE 102035/1M:2001 *Placa de yeso laminado. Resistencia al impacto*.

Para la realización de los ensayos se contó con el siguiente equipo e instrumental:

- Desecador
- Dispositivo de altura variable adecuado para el control de la altura de la caída de la bola de acero
- Placa de acero como base de impacto de 15 x 400 x 400 mm
- Bola de acero con una masa de 1137 gr
- Lámpara con lupa de 150 mm de diámetro
- Vernier o pie de rey Mitutoyo® con una precisión de 0,1 mm
- Flexómetro con una medición mínima de 1,0 mm

El principal objetivo de este ensayo es estudiar el comportamiento al impacto que tienen los materiales similares a la placa de yeso y hacer comparaciones entre las placas comerciales y las que se fabricaron para esta investigación.

En este ensayo se buscó determinar el diámetro de la huella que genera la esfera de acero al momento de impactarse a la placa con una energía potencial de 245 J.

Esta energía se consiguió a través de la caída libre de una esfera de acero desde una altura de 0.21m sobre una de las caras de cada probeta.

Procedimiento:

- 1) Inspeccionar cada una de las probetas para comprobar que no tuvieran algún defecto o falla en la cara que se pretendía realizar el ensayo.
- 2) Dejar caer la esfera de acero (1137 gr) (foto 3) desde las distancias mencionadas. Se realizaron cuatro impactos para cada placa,.
- 3) Con la ayuda del lápiz se marcaron los 4 impactos.
- 4) Se midieron las áreas de los impactos con ayuda de la lupa y Vernier (foto 4)

Resultados

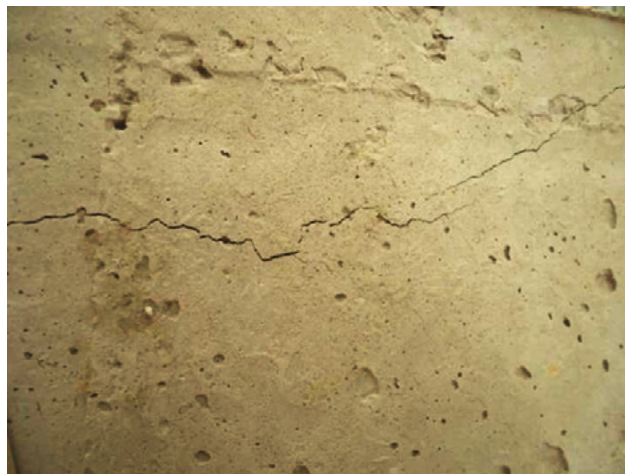
En los resultados se observó que solo un grupo de placas superó los límites máximos que marca la Norma (20 MM) este fue el grupo YM. En la mayoría de los casos, las placas que contienen fibra de agave muestran resultados más favorables, como el caso de la mezcla YEP 4.1/E YF50%/YC50% que presentó huellas

con medidas de áreas muy pequeñas. Se puede desprender que la fibra de agave aporta a mejorar las propiedades de resistencia al impacto en las muestras donde participa.

Foto 3. Bola de acero usada en el ensayo



Foto 4. Registro del impacto en las huellas



Conclusiones generales

De las aplicaciones de los materiales en elementos de uso similar a las placas de yeso estándar.

Una ventaja principal de los nuevos materiales de placa está en su ligereza, donde una placa de 12,5 mm de uno de los nuevos materiales tiene un peso de hasta 5,55 kg/m² mientras una placa comercial tiene su peso entre 9,8 y 10 kg/m². Esto facilita su manejo en producción y almacén así como también su traslado hacia el lugar de uso e instalación en obra, lo que permite el ahorro de energía que puede traducirse en un beneficio medioambiental y que se añade al hecho del uso de materiales reciclados.

Los ensayos han confirmado las buenas características de reacción al fuego de los materiales propuestos, lo que ofrece una opción válida y atractiva para aplicaciones de construcción interior con mayor riesgo de incendio y donde la placa de yeso estándar puede resultar excesivamente pesada.

En varias de las comparaciones entre las resistencias mecánicas de las placas estándar, las placas de referencia y las placas fabricadas con residuos de espuma integrados se observa un mejor desempeño de los materiales comerciales. Se puede explicar que la pérdida de resistencia de los nuevos materiales producto de la rica proporción de agua empleada en la preparación de las mezclas y a la utilización de residuos de EPS, que resulta en una estructura ligera pero de alta porosidad y por ello más débil.

Del grupo de ensayos aplicados a probetas de placas, se confirma que los nuevos materiales son utilizables en aplicaciones similares pero de menor exigencia que los usos comunes de las placas estándar de yeso laminado.

También, con la información procedente de los ensayos es posible proponer otras aplicaciones a estudiar en futuras investigaciones, como particiones interiores, para lo cual se pueden adosar las placas entre sí y lograr un producto de mayor resistencia.

Se ha mostrado que los materiales que contienen residuos acondicionados de EPS con atención a sus desventajas y con las debidas modificaciones, pueden ser aprovechados para la fabricación de elementos constructivos tipo placa, como los que se han señalado a lo largo de la investigación.

Se ha logrado la propuesta de productos alternativos para la construcción que pueden fabricarse con procesos simples.

Se ha logrado la protección intelectual de algunas mezclas ensayadas mediante la obtención de la patente ES 2 277 776 B1.

Se ha logrado presentar una propuesta de diseño industrial mediante la realización de un trabajo multidisciplinario, que busca cooperar a la búsqueda de soluciones a problemas sociales importantes, como es en este caso, el de los residuos de plásticos expandidos.

Podemos observar que los resultados obtenidos en ambas etapas experimentales ayudan a confirmar la viabilidad del proyecto, mostrando datos con pocas diferencias en comparación a los productos encontrados actualmente en el mercado.

Está clara la necesidad de hacer ajustes que ayuden a mejorar la calidad de las nuevas placas y que además mejoren detalles en aspectos de fabricación, pero estos avances han sido fundamentales en el crecimiento del proyecto debido a que en cada etapa se obtuvieron resultados con diferencias a los anteriores por la inclusión de nuevos residuos.

Créditos

Dr. Francisco Javier Fuentes Talavera. Instituto de Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara.

Dr. Joaquim Lloveras Macià. ETSEIB. Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Jóvenes investigadores:

D.I. Moisés Carrillo Joya. Redacción de Reporte

D.I. José Luis García Toscano UDG

D.I. Xitlalli Mayahuel Sepúlveda A. (Coordinación UDG)

Mariel Andrea Ojeda Tuz. Universidad Autónoma de Yucatán.

Referencias bibliográficas

- [1]. González Madariaga, F.J. *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido conglomeraados con yeso o escayola, su uso en la construcción*. Tesis doctoral. UPC, ETSEIB. Barcelona (2006) ISBN 978-84-690-6065-0
- [2]. BASF. *Recycling and disposal use of expanded styropor* –URL- <<http://www.basf.com>>
- [3]. SPI. (1999) *Guide for standard worldwide terminology for use in recycling of plastics*. The society of Plastics Industry, Inc. Reproducida por ANARPLA. Valencia España
- [4]. Reyes, M. *et al.* (2002). *Los plásticos como materiales de construcción*. Madrid: UNED.
- [5]. Rieradevall, J.; Vinyets, J. (1999) *Ecodisseny i ecoproductes*. Barcelona: Rubes Editorial, S.L. 1a. ed.
- [6]. Haselein, R.; *et al.* (2002) *Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante*. *Ciência Forestal*, V.12, n.1, 2002. p: 81-87
- [7]. Hernández, F.; *et al.* (1999) Development of cork-gypsum composites for building applications. *Construction and Building Materials*. Madrid: Elsevier Ltd. 13:179-186

- [8]. Río, M.; *et al.* (2002). *Yeso aligerado con corcho y su aplicación en paneles para construcción*. España, patente de invención ES2170612A1, 2002-08-01. Madrid: OEPM
- [9].Laukaitis, A. *et al.* (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cement & Concrete Composites*. Lithuania: Elsevier Ltd. Institute of thermal Insulation. 27: 41 – 47.
- [10]. Klemmner, D.; Frisch, K. (ed). (1994). *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*. Munich: Hanser Publishers.
- [11]. González Madariaga F.J, Lloveras Macià, J. (2008)EPS recycling bends mixed with plastic or stucco, some applications in building construction. Informes de la construcción. Instituto de Ciencias en la construcción Eduardo Torroja, Madrid. ISSN: 0020-0883
- [12]. González Madariaga F.J. Rosa Sierra L.A. *Caracterización de mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso, su uso en la construcción*. Reporte de investigación 2008 - 2012. CUAAD. Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México. 2012. En edición.
- [13]. González Madariaga F.J. Rosa Sierra L.A. *Innovador sistema constructivo basado en placas aligeradas de yeso*. Reporte de investigación 2010 - 2012. CUAAD. Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México. 2012. En edición.

Perfil inflamatorio y sobreexpresión de TLR4-CD14 en sujetos obesos mestizos del occidente de México

CÉSAR O. DE LOERA-RODRÍGUEZ,¹ VIDAL DELGADO-RIZO,²

ANABELL ALVARADO-NAVARRO,³ JORGE E. SEGURA-ORTEGA,⁴

MARY FAFUTIS-MORRIS,⁵

CONTACTO: CIADL@HOTMAIL.COM

Introducción: La obesidad es un problema de salud pública a nivel mundial. En los últimos años se ha observado que los pacientes obesos presentan un estado inflamatorio crónico de bajo grado como una consecuencia del incremento en la masa del tejido adiposo, que lleva a un aumento en la producción de mediadores proinflamatorios que son conjuntamente estimulados por señales de origen exógeno o endógeno en los que recientemente se ha descrito al receptor TLR4. *Objetivo:* Comparar la expresión de TLR4+/CD14+ y el perfil inflamatorio en sangre periférica de individuos obesos y normopesos del occidente de México. *Metodología:* 210 sujetos mestizos mexicanos provenientes de los estados de Jalisco, Michoacán, Colima, Nayarit y Zacatecas, se dividieron en dos grupos, 105 controles normopesos y 105 sujetos obesos. A los dos grupos de estudio, se les determinó perfil inflamatorio, antropométrico y % de expresión de TLR4 y CD14 en monocitos de sangre periférica. *Resultados:* Al realizar el análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados: concentración de IL-1 β = 2.5, 2.0 pg/ml (p=NS), IL-6 = 28,

-
- [1] Doctorado en Ciencias Biomédicas, CIINDE, Departamento de Fisiología. CUCS, Universidad de Guadalajara. Sierra Mojada 950, Col. Independencia C.P. 44348.
 - [2] Doctorado en Ciencias Biomédicas, CIINDE, Departamento de Fisiología. CUCS, Universidad de Guadalajara. Sierra Mojada 950, Col. Independencia C.P. 44348.
 - [3] Doctorado en Ciencias Biomédicas, CIINDE, Departamento de Fisiología. CUCS, Universidad de Guadalajara. Sierra Mojada 950, Col. Independencia C.P. 44348.
 - [4] Antiguo Hospital Civil de Guadalajara «Fray Antonio Alcalde». Hospital núm. 278, Col. Independencia C.P. 44340. Guadalajara, Jal. México.
 - [5] Doctorado en Ciencias Biomédicas, CIINDE, Departamento de Fisiología. CUCS, Universidad de Guadalajara. Sierra Mojada 950, Col. Independencia C.P. 44348.

36 pg/ml ($p=0.030$), IL-8 = 25, 27 pg/ml (NS), IL-10 = 6.8 y 8.4 pg/ml (NS), TNF α = 15 y 31 pg/ml ($p=0.000$) respectivamente. La expresión de TLR4 fue de 70.40 %, IFM de 6.41, CD14 de 84.36 %, IFM de 1.25 y porcentaje doble positivo de 59.42 % en no obesos y una expresión de TLR4 de 76.91 %, IFM 7.70, CD14 de 86.32 %, IFM 1.61 y porcentaje doble positivo de 66.15 % en obesos; con una diferencia estadística de $p=0.000$. *Conclusión:* Los individuos obesos del occidente de México, presentan mayor concentración de citocinas proinflamatorias (IL-6 y TNF α), así como una mayor expresión del receptor TLR4 y su proteína adaptadora CD14 en sangre periférica, que los sujetos normopesos de la misma región del país.

Introducción

La historia de la obesidad data de la edad de piedra, aunque la interpretación que se ha dado a este síndrome ha variado de una época a otra. En diversas culturas humanas, la gordura estuvo asociada con el atractivo físico, la fuerza y la fertilidad. Dentro del México Prehispánico, en numerosos pueblos, el adelgazar significaba peligro e inclusive enfermedad terrible. En las culturas donde escaseaba la comida, ser obeso era considerado un símbolo de riqueza y estatus social.

En la cultura occidental moderna, la obesidad se considera en general poco atractiva. Actualmente se considera la obesidad como un grupo de enfermedades heterogéneas con un origen multifactorial y que constituye un serio problema de salud pública, con tendencia al incremento, entre otras cosas por una dieta deficiente y hábitos sedentarios.

La obesidad es una de las principales causas de enfermedades crónicas y muertes prevenibles (Lara, 2008: 72-81). La obesidad ha sido catalogada como «la epidemia del siglo XXI», según la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde 1995 y es considerada como una epidemia de proporciones extravagantes que deja mas de 6 millones de muertes al año (Guzman 2009: 37-50, Gonzalez 2009: 296-303, Trujillo 2010: 197-207, OMS 2008).

Definición

La obesidad es un padecimiento crónico complejo de etiología multifactorial que se desarrolla por un desequilibrio entre la ingesta y el gasto de energía, es decir, una acumulación anormal o excesiva de energía en forma de grasa en el tejido adiposo (TA), manteniéndose como una inflamación crónica subclínica de bajo grado.

El exceso de energía se almacena en los adipocitos, los cuales aumentan en tamaño o en número. Este desequilibrio es el resultado de la combinación de varios factores fisiológicos, psicológicos, metabólicos, genéticos, socioeconómicos, culturales y emocionales. Lo anterior se traduce en un incremento en el peso corporal, que es diferente para cada persona y grupo social (Blancas 2010: 88-97)

Epidemiología

Los últimos cálculos de la OMS señalan que en 2008 había en todo el mundo, aproximadamente 1500 millones de adultos (mayores de 15 años) con sobrepeso y al menos 500 millones obesos (300 millones mujeres y 200 millones hombres). Además, calcula que en 2015 habrá aproximadamente 2300 millones de adultos con sobrepeso y más de 700 millones con obesidad. En 2010 había en todo el mundo unos 43 millones de menores de 5 años con sobrepeso (OMS 2008).

La obesidad puede considerarse como el problema de salud pública principal al cual se enfrenta México en la actualidad dada su gran prevalencia ya que según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), México ocupa el primer lugar en obesidad infantil y recientemente de adultos donde se ha observado que más del 70 % de la población padece sobrepeso u obesidad. En la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006 (ENSANUT 2006), se encontró que, en México alrededor de 30 % de la población mayor de 20 años (34.5 % de las mujeres, y 24 % de los hombres,) tiene obesidad; en el ámbito nacional, la prevalencia de sobrepeso fue más alta en hombres (42.5 %) que en mujeres (37.4 %. 5 pp mayor) (Trujillo 2010: 197-207, García 2008: 530-547).

La obesidad relacionada como principal causa de condición crónica ha incrementado el costo de la atención médica. Estimaciones realizadas por el centro Nacional de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades de la Secretaría de Salud señalan que los costos en salud atribuibles a la obesidad son alrededor de 3578 millones de dólares, esto significa un 10.8 % de los gastos en salud nacional en el año 2000 (Lara, 2008: 72-81).

Etiología y fisiopatología de la obesidad

Se ha señalado que la obesidad obedece a factores fisiológicos: edad, sexo, grupo étnico, composición corporal (número de adipocitos, distribución grasa), así como la capacidad fisiológica individual para metabolizar el contenido de alimentos con-

sumidos lo que sugiere que la obesidad es una situación inevitable y no causada directamente por el individuo. El incremento en el consumo energético y el menor gasto calórico, debido al sedentarismo, promueve un balance energético positivo que se traduce en el incremento de depósitos grasos. En su origen involucra tanto factores genéticos como ambientales (Gonzalez 2010: 17-25).

El consumo de bebidas que proporcionan energía como jugos, aguas frescas, refrescos, té o café con azúcar, bebidas endulzadas, leche entera y bebidas alcohólicas, eleva considerablemente la ingestión energética promedio en los mexicanos. Dependiendo del grupo de edad, entre 19 y 22 % de la energía de la dieta proviene de bebidas (García 2008: 530-547). La obesidad provoca graves daños al organismo, con una disminución de la esperanza y de la calidad de vida. Es un componente básico del síndrome metabólico, en especial la obesidad central (Soca 2009: 84-92).

La obesidad, en especial la adiposidad abdominal, caracterizada por una gran circunferencia de cintura y el aumento de los triglicéridos asociado a la ingestión de comida son fuentes de ácidos grasos libres (del inglés *free fatty acid* [FFA]) (Dekker 2004: 12-13). De esta manera, la energía en exceso se acumula, en forma de grasa, en los depósitos de tejido adiposo, que además de actuar como almacén, produce hormonas y numerosas proteínas que participan en la regulación del metabolismo entre las cuales se encuentra la adiponectina.

Con la aparición de la obesidad se presentan alteraciones en la respuesta inmunitaria ya que se genera un proceso inflamatorio que suele ser crónico, subclínico y de bajo grado, que lleva a un aumento en la producción de mediadores proinflamatorios que son conjuntamente estimulados por señales de origen exógeno o endógeno (Blacas 2010: 88-97). El desequilibrio energético crónico produce hipertrofia e hiperplasia del adipocito, estrés del retículo endoplásmico y disfunción mitocondrial. Este proceso deja una liberación intracelular y sistémica incrementada de ácidos grasos libres y mediadores inflamatorios que causan disfunción del adipocito e inducen efectos adversos en las células hepáticas, pancreáticas y del músculo esquelético, además de los lechos cardíaco y vascular (Ferrati 2009: 95-108, Durazno 2009: 262-264, Milanki 2009, 359-370).

El tejido adiposo contiene fibroblastos, preadipocitos, adipocitos y macrófagos; estos últimos contribuyen de manera importante al proceso inflamatorio sistémico con la producción de mediadores proinflamatorios. Así, existe

una asociación íntima, altamente coordinada, entre las vías inflamatorias y las metabólicas; destaca la coincidencia en las funciones de los macrófagos y los adipocitos en la obesidad. Dilucidar los vínculos que existen entre obesidad e inflamación es de gran importancia dentro del campo de la inmunología (Blancas 2010: 88-97).

Existen evidencias sobre la hipótesis que afirma que la obesidad es una condición inflamatoria que lleva a una activación crónica del Sistema Inmune Innato lo cual conduce a las distintas condiciones clínicas que se observan en la obesidad. Estudios experimentales y la evidencia de estudios prospectivos y longitudinales en humanos son consistentes con el papel etiológico de la inflamación subclínica en la patogénesis de muchas de las enfermedades asociadas a la obesidad. Además de esto se ha descrito que el tejido adiposo secreta moléculas que clásicamente son secretadas por células del sistema inmunológico tales como las interleucinas (IL-6, IL1) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α).

La secreción de estas moléculas por estos tipos celulares contribuye a desarrollar el estado inflamatorio subclínico observado en los obesos. Los mecanismos que relacionan la obesidad con la aterosclerosis y la enfermedad cardiovascular son objeto de estudio actualmente; por ejemplo, las células adiposas sintetizan y secretan sustancias como leptina, TNF- α , la interleucina-1 β (IL-1 β) o la interleucina-6 (IL-6) y muchas otras. Estas moléculas liberadas por las células adiposas tienen efecto directo sobre el metabolismo celular y varias de ellas tienen un conocido efecto proinflamatorio. La inflamación juega un papel clave en el inicio y progreso de la aterosclerosis (Fain 2010: 1-11).

Ácidos grasos

El tejido adiposo se considera en la actualidad un órgano endócrino capaz de enviar señales que modulan el apetito, el gasto energético, la resistencia a la insulina, así como los procesos inflamatorios (De Luis 2009: 688-692). Por ejemplo los niveles circulantes de resistina se relacionan con marcadores inflamatorios, triglicéridos, LDL colesterol y datos antropométricos en pacientes con obesidad mórbida (De Luis 2010: 630-634).

Con el padecimiento de obesidad el tejido adiposo aumenta la cantidad de adipocinas pro y anti inflamatorias liberadas, sustancias implicadas en muchas de las manifestaciones clínicas de esta patología, como la diabetes, hipertensión arterial

o enfermedad cardiovascular. Dicho aumento, conduce a la aparición diferentes efectos adversos, entre los que se encuentran: aumento del estrés oxidativo, disfunción endotelial, aumento de la presión arterial y alteraciones del metabolismo lipoproteico, todos ellos perjudiciales para la salud. La realización de ejercicio físico, junto con el seguimiento de una dieta equilibrada, aproximada al patrón mediterráneo, con bajo consumo de grasa y sal serían de ayuda para mejorar la salud (Rodríguez 2009: 415-421, Khan 2000: 473-81, Wellen 2003: 1785-1788, Yamauchi 2001: 941-946, Steppan 2001: 307-312, Yang 2005: 356-362, Uysal 1997: 610-614, Wellen 2005: 1111-1119).

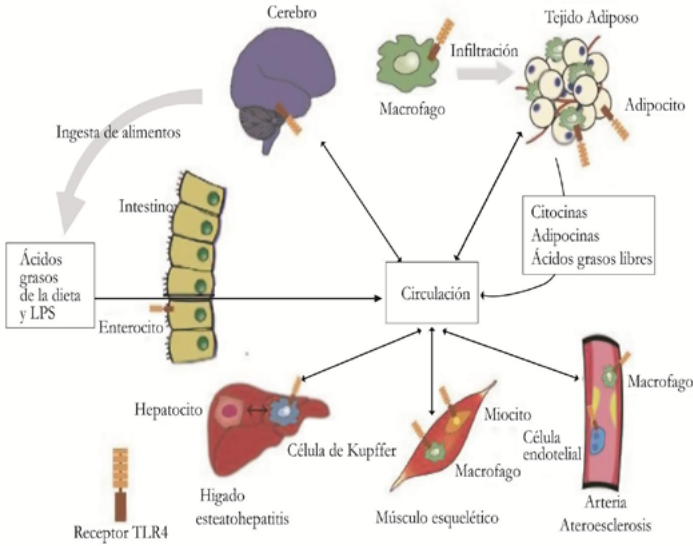
La obesidad se caracteriza por una activación crónica de las vías proinflamatorias (Khan 2000: 473-81, Wellen 2003: 1785-1788, Wellen 2005: 1111-1119). Sin embargo, los mecanismos fundamentales de mantener en activación constante la señalización inflamatoria, permanece aun pobremente entendida.

Los niveles de FFA que se encuentran elevados en la obesidad, debido al incremento de la liberación por la expansión del tejido adiposo, han sido blanco de numerosos estudios (Lam 2003: 281-290, Boden 2005: 3458-3465, Dresner 1999: 253-259). Se han explorado mecanismos moleculares potenciales, en los cuales los FFA, promuevan la inflamación y el papel de las redes de señalización proinflamatoria ha emergido de manera muy importante. Por ejemplo, las cinasas intracelulares ligadas a la señalización proinflamatoria, incluyendo PKC, IKK y JNK, parecen participar de manera importante en esta señalización, ya que modelos murinos knockout a estas tres cinasas, se ven altamente protegidos al desarrollo de la inflamación y obesidad (Kim 2004: 823-827, Bastard 2006: 4-12, Kim 2001: 437-446, Coppack 2001: 349-356). Sin embargo cuando ya se conoce al menos una de las vías intracelulares de señalización involucradas en el desarrollo de la inflamación mediada por FFA, los mecanismos moleculares que inician estas redes de señalización hasta el momento no están del todo claros.

TLR4

Los TLRs (receptores tipo toll) son una familia de receptores transmembrana con un dominio intracitoplásmico homólogo al del receptor de IL-1, sin embargo los dominios extracelulares, son diferentes y reconocen patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs), localizados en diferentes estirpes celulares (fig. 1).

Fig. 1. Localización TLR4. Modificado de Kim J.J., Sears D.D., 2010 Gastroenterol. Research and Prct. 1-11



Estos TLRs, desempeñan un papel crítico en el sistema inmune innato al activar las vías de señalización proinflamatoria, en respuesta a patógenos microbianos. El TLR4, es el TLR mejor caracterizado y más estudiado, uno con gran especificidad al LPS de la pared celular de las bacterias Gram(-). Bajo la unión de LPS a TLR4 y sus correceptores CD14 y MD2, la MyD88 (proteína adaptadora del factor de diferenciación mieloide 88), es reclutada por el tallo citoplásmico homólogo al IL-1R (TIR). La interacción del dominio TIR de TLR4 y MyD88 inician hacia el interior de la célula una cascada de señalización, activando la vía de NF- κ B, que a su vez activa la transcripción de muchos genes que codifican para moléculas proinflamatorias, entre las que se incluyen citocinas, quimiocinas, defensinas y otras efectoras de la respuesta inmune innata (Shi 2006: 3015-3026).

Teniendo en cuenta todos estos datos y el papel fisiopatológico de los FFA en inflamación, es interesante que los lípidos componentes del LPS sean suficientes para iniciar la señalización de TLR-4 y en particular, un ácido graso de cadena

mediana, el ácido láurico, un ácido graso saturado de cadena intermedia (doce carbonos $C_{12}H_{24}O_2$), que se obtiene de las semillas de diferentes tipos de palmeras como el aceite de semillas de palma y de coco. Se encuentra en cierta proporción en la leche humana (6.2 % de la grasa total), la leche de vaca (2.9 %), así como la leche de cabra (3.1 %), el cual se ha demostrado inicia la señalización por TLR4 en una línea celular de macrófagos (Shi 2006: 3015-3026).

En otros estudios *in vitro* se ha demostrado en líneas celulares específicamente 3T3-L1 (adipocitos murinos), estimulados tanto por ácidos grasos saturados, insaturados así como con LPS y, Pam3Cys y CpG la secreción de adipocinas y citocinas proinflamatorias a través de la vía de señalización NF- κ B (Schaeffler 2009: 233-245, Koop 2009: 648-656).

La actividad inflamatoria en el tejido adiposo se ha implicado recientemente en los mecanismos relacionados con obesidad, síndrome metabólico. En esta actividad inflamatoria se encuentra involucrada la vía de activación de TLR/ NF- κ B (Vitseva 2009: 3457-64).

Planteamiento del problema

La obesidad se considera un problema de salud pública mundial, una de las principales causas de enfermedades crónicas y muertes prevenibles a nivel mundial. México está situado como el país número uno en incidencia y prevalencia. Los pacientes obesos presentan un estado inflamatorio crónico como consecuencia del incremento en el tejido adiposo, el cual, lleva a un aumento en los niveles y producción de mediadores inflamatorios. El TLR4 incrementa la producción de citocinas proinflamatorias en diferentes líneas celulares en las que encontramos a lo monocitos de sangre periférica y donde se ha observado que los ácidos grasos utilizan esta vía con la consiguiente producción de citocinas de perfil inflamatorio como IL-6, TNF α , entre otras. Se plantea este proyecto con el objetivo de comparar la expresión de TLR4+/CD14+ y el perfil inflamatorio en sangre periférica de individuos obesos y normopesos del occidente de México

Objetivo

Comparar la expresión de TLR4+/CD14+ y el perfil inflamatorio en sangre periférica de individuos obesos y normopesos del occidente de México

Criterios de inclusión

Para los 2 grupos de estudio

Criterios de inclusión:

- Acepten voluntariamente participar en el estudio mediante la firma de la carta de consentimiento informado
- Ser mestizos mexicanos de apellidos castellanos y por lo menos 3 generaciones
- Ambos géneros
- Mayores de 18 años

Criterios de no Inclusión:

- Presenten alguna enfermedad infecciosa o autoinmune
- Sometidos a tratamiento médico para estas enfermedades
- Utilización de cualquier tipo de drogas o tabaquismo

Criterios de Exclusión:

- Muestra biológica insuficiente
- Contaminación o degradación de la muestra
- Glicemia en ayuno > 126 mg/dl

Por grupo

Criterios de Inclusión pacientes obesos:

- $IMC > 30 \text{ kg/m}^2$ en los últimos 3 meses
- >28 % grasa
- Índice cintura cadera > 0.95 para hombres, >0.85 para mujeres
- Circunferencia abdominal > 102 cm

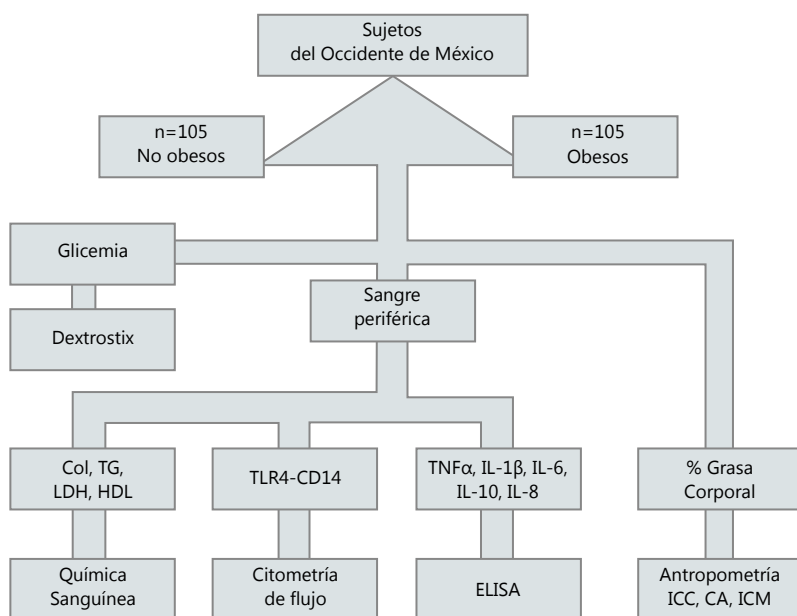
Criterios de Inclusión para grupo control

- IMC entre 18 y 25 kg/m^2 en los últimos 3 meses
- < 28 % de grasa
- Índice cintura cadera <0.90 para hombres <0.80 para mujeres
- Circunferencia abdominal < 94 cm

Metodología

La obtención de la muestra se realizará de la siguiente manera: de cada sujeto de estudio se obtendrán 18 ml de sangre periférica que se repartirán en tubos con EDTA (6 ml) y secos (12 ml) para realizar las metodologías propuestas, por punción venosa y en condiciones de esterilidad en sangre periférica de los sujetos obesos y no obesos,

Diagrama general de la metodología



- I) Del tubo con sangre heparinizada, se hará:
 - a) Citometría de flujo para CD14/TLR4
- II) De los otros tubos con sangre periférica, se centrifugará y obtendremos el suero para:
 - a) La determinación de citocinas proinflamatorias IL-1 β , IL-6 y TNF α por ELISA. Realizada de acuerdo a las especificaciones de la casa comercial R and D.

Resultados

Se han evaluado 210 participantes divididos en 2 grupos como se muestran en la tabla 1 junto con sus características clínicas. Se ha logrado un grupo control no obeso con una $n=105$ y un grupo de estudio obeso con una $n=105$. Todos ellos son una muestra representativa del occidente de México, han participado de manera voluntaria firmando su consentimiento informado, se les descartó enfermedades infecciosas o autoinmunes y se encontraron libres de cualquier medicación, drogas o tabaquismo.

Tabla1. Características clínicas del grupo obeso y no obeso

	<i>Obesos</i>	<i>No-obesos</i>	<i>T Student</i>
n	105	105	
Género (femenino/masculino)	70/35	50/55	
Edad (años)	38.5±12.8	33.4±13.4	.006
Peso	93.4±17.2	65.75±9.1	.000
IMC (kg/m ²)	34.7±5.4	23.3±1.5	.000
Grasa corporal (%)	37.3±6.5	23.4±4	.000
ICC	1.1±0.3	.8±.09	.000
CA (cm)	109.2±13.9	83.4±9.6	.000
CC	116.3±14.3	98.2±8.2	.000
Tiempo con su actual peso (años)	6.9±5.4	6.4±4.5	.488
Glucemia (mg/dL)	107.2±9.7	81.08±9.1	.000
Colesterol (mg/dL)	173.5±40.8	161.7±35.3	.027
Triglicéridos (mg/dL)	168.5±139.5	126±76	.007
LDL (mg/dL)	100.2±36.1	93.6±29.9	.149
HDL (mg/dL)	40.6±11.5	43.1±10.3	.108

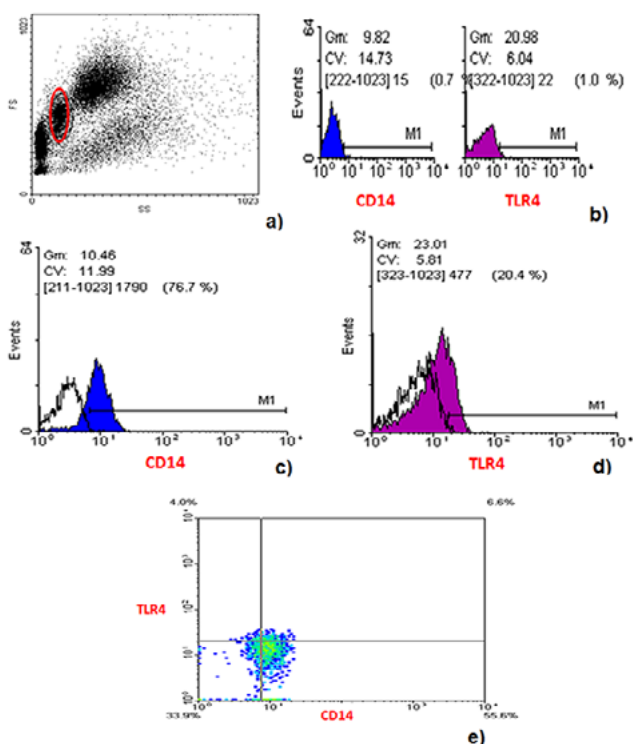
Los datos se presentan como media y ±DS. IMC- Índice masa corporal; ICC- Índice cintura cadera; CA- Circunferencia abdominal; CC- Circunferencia cadera; LDL- Lipoproteína de baja densidad; HDL- Lipoproteína de alta densidad.

Dentro de los parámetros antropométricos el grupo control tuvo un IMC entre 18 y 25 kg/m², un porcentaje de grasa menor a 28 % para las mujeres y 25 % para los hombres; una circunferencia de cintura menor a 0.94 y 0.85 respectivamente

así como una circunferencia abdominal menor a 94 cm. Para el grupo obeso el IMC fue mayor o igual a 30 kg/m², el porcentaje de grasa mayor a 31 % en mujeres y 28 % en hombres; circunferencia de cintura mayor o igual a 0.95 y mayor o igual a 0.85 respectivamente y circunferencia abdominal mayor a 102 cm. En suma, a todos los participantes se les estará midiendo colesterol, triglicéridos, LDL, HDL y ácidos grasos.

En las siguientes figuras podemos observar imágenes representativas de las citometrías realizadas tanto al grupo de no obesos como al grupo de los obesos.

Figura 2. Expresión de TLR4 y CD14 en sangre periférica de sujeto evaluado



(a) Monocitos: población celular tomada para el análisis de la expresión de los receptores. (b) Histograma que muestra el control de isotipo. (c-d) Muestra doble positiva para CD14 y TLR4.

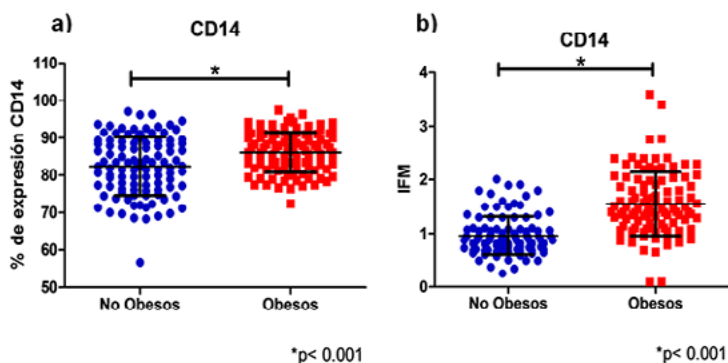
(d) Se muestra un dot plot de población doble positiva.

En las siguientes imágenes podemos observar el comportamiento estadístico tras el análisis de las 105 muestras del grupo control (no obeso) y 105 muestras del grupo de estudio (obeso).

Figura 3. Expresión de CD14 comparativamente entre ambos grupos.

(a) Porcentaje de monocitos que expresan en su superficie CD14.

(b) Índice de fluorescencia media.

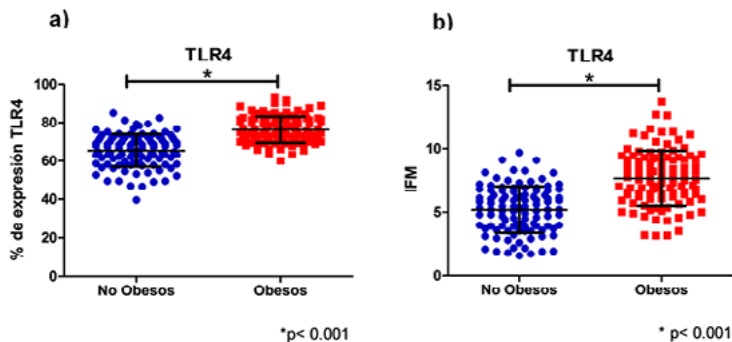


La imagen siguiente muestra la expresión de TLR4 con una diferencia estadística significativa entre obesos y no obesos ($*p < 0.001$).

Figura 4. Expresión de TLR4 comparativamente entre ambos grupos.

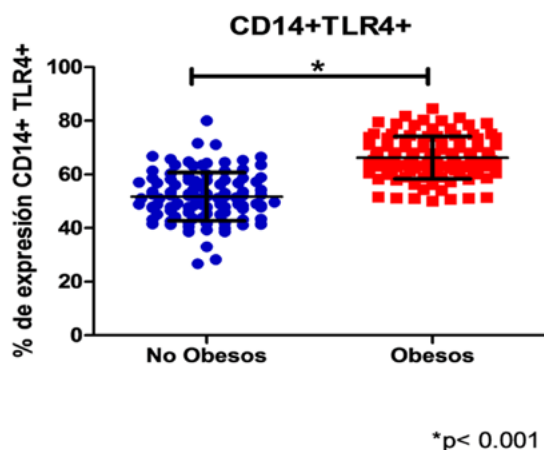
(a) Porcentaje de monocitos que expresan en su superficie TLR4.

(b) Índice de fluorescencia media.



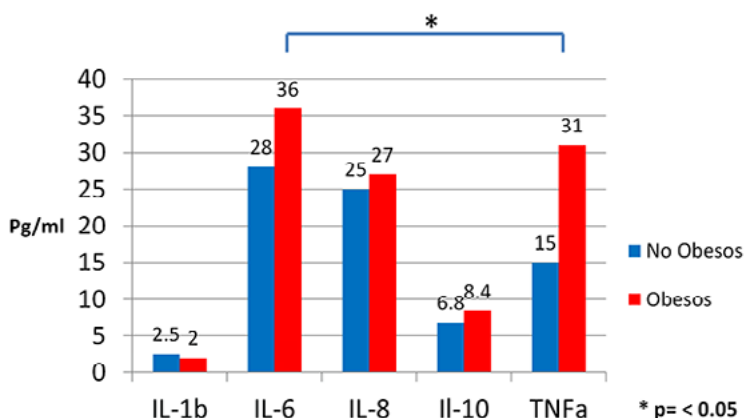
Finalmente mostramos la expresión del doble marcaje positivo CD14 y TLR4 con una significancia de $p < 0.001$.

Figura 5. Expresión de TLR4 y CD14 comparativamente entre ambos grupos.



Se han analizado la totalidad de las muestras de suero de los sujetos obesos y no obesos obteniendo los siguientes resultados.

Figura 6. Concentración de citocinas en suero en sujetos obesos y normopesos



Conclusión

Los individuos obesos del occidente de México, presentan mayor concentración de citocinas proinflamatorias (IL-6 y TNF α), así como una mayor expresión del receptor TLR4 y su proteína adaptadora CD14 en sangre periférica, que los sujetos normopesos de la misma región del país.

Bibliografía

- Bastard, J.P. Recent advances in the relationship between obesity, inflammation, and insulin resistance. *Eur. Cytokine Netw.* 2006;17:4-12
- Blancas G, Almanza J, López R, Alarcón F, García R, Cruz M. La obesidad como un proceso inflamatorio. *Boletín médico del hospital infantil de México*, 2010; 67: 88-97
- Boden, G. Free fatty acids produce insulin resistance and activate the proinflammatory nuclear factor- κ B pathway in rat liver. *Diabetes* 2005;54:3458-3465
- Coppack, S. Pro-inflammatory cytokines and adipose tissue. *Proceedings of the Nutrition Society* 2001; 60: 349-356
- Córdoba J. Sobre peso y obesidad, problemas de salud pública en México. *Academia mexicana de cirugía, Cirugía y cirujanos* 2009; 77: 421-422.
- De Luis D, Gonzalez M, Aller R, Izaola O, Conde R, Pérez J, *et al.* G1359 polimorfismo del receptor CB1 endocannabinóide (CRN1) en parámetros antropométricos y riesgo cardiovascular en pacientes con obesidad mórbida. *Nutrición hospitalaria* 2009; 24 (6): 688-692.
- De Luis D, Gonzalez M, Conde R, Aller R, Izaola O. Resistin levels and inflammatory markers in patients with morbid obesity. *Nutrición hospitalaria* 2010; 25 (4): 630-634.
- Dekker J. Lípidos en sangre: una marea tóxica. *Diabetes Voice* 2004; 49: 12-13
- Dresner, A. Effects of free fatty acids on glucose transport and IRS-1-associated phosphatidylinositol 3-kinase activity. *J Clin Invest.* 1999;103:253-259
- Durazo F, Capelini F. Leptina y obesidad. *Revista mexicana de patología clínica* 2009; 56: 262-264.
- Fain J.N. Released of inflammatory mediators by human adipose tissue is enhanced in obesity and primarily by the non fat cells. *A Review Mediators of inflammation* 2010. 1-11
- Ferranti S, Mozaffarian D. La tormenta perfecta: obesidad, disfunción del adipocito y consecuencia metabólicas. *Bioquímica Clínica* 2009;34:95-108.
- García E. La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública una reflexión. *Salud pública de México* 2008;50(6): 530-547.
- González D, Solano L, González J. Adiponectina, insulina y glicemia, en individuos con sobrepeso u obesidad sometidos a un régimen de alimentación rico en carbohidratos complejos. *Archivos latinoamericanos de nutrición. Universidad de Carabobo* 2009; 59 (3): 296-303.
- Gonzalez L, Camberos R, Bacardí M, Jiménez A. Long-term randomized clinical trials of pharmacological treatment on obesity: Systematic review. *Colombia Medica* 2010, 41: 17-25
- Guzmán R, Lugli Z. Obesidad y satisfacción con la vida: un análisis de trayectoria. *Universidad Simón Bolívar, Suma psicológica*, 2009; 16 (2): 37-50
- Khan BB and Flier JS. Obesity and insulin resistance. *J Clin Invest* 2000; 106: 473-81
- Kim, J.K. PKC- ζ knockout mice are protected from fat-induced insulin resistance. *J Clin Invest* 2004;114:823-827
- Kim, J.K. Prevention of fat-induced insulin resistance by salicylate. *J Clin Invest* 2001;108:437-446

- Koop, A., Buechler, C., Neumeier, M., *et al.* Innate Immunity and adipocyte function: ligand- specific of multiple Toll-like receptors modulates cytokines, adipokine, and chemokine secretion in adipocyte. *Obesity* 2009; 17:648-56
- Lam, T.T., Van Der Werve, G., and Giacca, A. Free fatty acids increase basal hepatic glucose production and induce hepatic insulin resistance at different sites. *Am J Physiol Endocrinol Metabol* 2003;284:281-290
- Lara A, Barriguete A, Romero S, Díaz M, Álvarez M, Fuentes L. Panorama general de la situación del sobrepeso y la obesidad en México. Alianza por un México sano, Fundación Midete 2008: 72-81.
- Milanki M, Degaspeni G, Coope A, *et al.* Saturated fatty acids, produce an inflammatory response, predominantly through the activation of TLR4 signals in hypothalamus: Implications for the pathogenesis of obesity. *J of Neuroscience* 2009. 359-370
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Datos y estadísticas, cifras de febrero de 2008. Disponible en web: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/index.html>
- Rodríguez E, Perea J, López A, Ortega R. Obesidad, resistencia a la insulina y aumento de los niveles de adipocinas: importancia de la dieta y el ejercicio físico. *Nutrición hospitalaria* 2009; 24 (4): 415-421.
- Schaeffler, A., Goss, P., Buettner R., *et al.* Fatty acid-induced induction of Toll-like receptor-4/nuclear factor-kappaB pathway in adipocytes links nutritional signaling with innate immunity. *Immunol*;2009;126: 233-245
- Shi H., Kokoeva, M.V., Inouye K, *et al.* TLR4 links innate immunity and fatty acid-induced insulin resistance. *J Clin Invest* 2006;116:3015-3026
- Soca P, Niño A. Consecuencia de la obesidad. ACIMED, centro nacional de información de ciencia médicas 2009; 20(4): 84-92.
- Steppan CM. The hormone resistin links obesity to diabetes. *Nat* 2001; 409: 307-12
- Trujillo B, Vásquez C, Almanza J, Jaramillo M, Mellin T, Valle O, *et al.* Frecuencia y factores de riesgo asociados a sobrepeso y obesidad en universitarios de Colima, México. *Salud publica* 2010; 12(2): 197-207.
- Uysal KT, Wiesbrok SM, Marino MW, Hotamisligil GS. Protection from obesity-induced insulin resistance in mice lacking TNF-alpha function. *Nat* 1997;389: 610-4
- Vitseva, O., Tanriverdi, K., Tchkonja T.T, *et al.* Inducible Toll-like receptor and NF-kappaB regulatory pathway expression in human adipose tissue. *Endocrinology* 2009; 150: 3457-64
- Wellen KE and Hotamisligil GS. Obesity-induced inflammatory changes in adipose tissue. *J Clin Invest* 2003; 112: 1785-88
- Wellen, K.E., and Hotamisligil, G.S. Inflammation, stress, and diabetes. *J Clin Invest* 2005; 115:1111-1119
- Yamauchi T. The fat-derived hormone adiponectin reverses insulin resistance associated with both lipodystrophy and obesity. *Nat Med* 2001; 1: 941-6
- Yang Q. Serum retinol binding protein 4 contributes to insulin resistance in obesity and type 2 diabetes. *Nat* 2005; 436: 356-62.

Cambio climático desde la visión de una comunidad productora de leche en la región de los altos norte del estado de Jalisco

XOCHITL BARBOSA CARMONA¹

S. LIZETTE RAMOS DE ROBLES²

Abstract

Sabemos que los impactos que está produciendo actualmente el cambio climático se encuentran en todas las áreas y Jalisco no ha sido la excepción. En esta investigación se documenta la visión que tienen los ganaderos productores de leche en la región de los Altos Norte de Jalisco a través de entrevistas semiestructuradas sobre el cambio climático y los impactos que tiene en su actividad económica y en la salud de su hato productor de leche. Este estudio es la base diagnóstica de esta problemática y el fundamento para diseñar orientaciones que permitan construir estrategias para atenderla de forma adecuada.

Palabras clave: Cambio climático, Productores de Leche, Jalisco, Ganado Bovino.

Antecedentes

Durante los últimos años, la temperatura de nuestro planeta se ha incrementado fundamentalmente a consecuencia de las emisiones generadas por las actividades humanas. Esta tendencia a la alta viene acompañada con temperaturas más extremas y eventos climáticos severos como sequías, inundaciones, escasez de agua, entre muchos otros. La conjunción de estos cambios trae serias implicaciones para la seguridad en la producción de alimentos mundialmente. Jalisco, como mayor productor de leche a nivel nacional y por su aptitud ganadera histórica, juega un

[1] Maestra en Ciencias de la Salud Ambiental, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara. Correo electrónico de contacto: xochitlbarbosa@gmail.com.

[2] Profesora-Investigadora del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Universidad de Guadalajara.

papel primordial en la producción de leche en nuestro país, situación que está siendo afectada de manera significativa por el cambio climático.

En este estudio se busca diseñar un plan de educación para la adaptación ante el cambio climático específico para los productores de leche de la región. Para ello documentamos el conocimiento, la percepción, las acciones que se han tomado y los efectos ocasionados por el cambio climático en la comunidad afectada. El municipio de Encarnación de Díaz, es donde se encuentran los principales productores de leche del estado y por tanto constituye nuestra área de estudio.

Una vez recolectada la información y hecho el análisis de datos, podremos hacer el diseño de la estrategia educativa en función de las necesidades de los productores, lo que traerá consigo la disminución de la vulnerabilidad ante el cambio climático de este sector tan importante de la población.

Marco teórico y conceptual

En este trabajo entenderemos como cambio climático la definición tomada del Instituto Nacional de Ecología (2010):

Por «cambio climático» se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Las principales evidencias sobre cambio climático son las siguientes:

- 1) El aumento de la temperatura promedio de la atmósfera terrestre (0.8 °C)
- 2) Aumento reciente de los acontecimientos atmosféricos extremos.
- 3) La disminución de la extensión del hielo y de las capas de nieve.
- 4) Aumento del nivel medio del mar.
- 5) Cambio en el comportamiento de algunas especies animales y vegetales.

Todo esto tiene efectos directos en la producción agropecuaria y de alimentos tanto para los animales como para el ser humano (Arias *et al.*, 2008). Scimmelfenning *et al.* (1996) reportaron la existencia de numerosos informes que indican potenciales daños a los animales en función de los cambios de clima proyectados.

La influencia del clima en la producción bovina ha sido reconocida desde hace mucho tiempo (Jhonson, 1987). Así, entonces la fisiología, el comportamiento y la salud del ganado son marcadamente influenciados por el medio ambiente en el cual el ganado vive, el cual puede afectar significativamente el desempeño económico del mismo (Balling 1980, MAFF, 2000).

El conservar la homeostasis (tendencia de los sistemas biológicos a mantener su estabilidad, ajustándose continuamente a las condiciones más adecuadas para su sobrevivencia) es prioritario para el funcionamiento adecuado del animal, como de importancia para la producción de alimentos (De Dios Vallejo, 2001).

No obstante estar adaptados a las condiciones medioambientales en las que viven, hay ciertas ocasiones en las que los animales sufren estrés debido a las oscilaciones en las temperaturas o bien por una combinación de factores negativos a los que se someten durante un corto periodo de tiempo. Los animales hacen frente a estos periodos desfavorables primordialmente a través de modificaciones fisiológicas y de comportamiento (Arias *et al.*, 2008). Así, en la mayoría de los casos esta respuesta se manifiesta en cambios en los requerimientos de nutrientes, siendo el agua y la energía los más afectados cuando el ganado se encuentra fuera de la denominada zona termo-neutral (Conrad 1985). Estos cambios en los requerimientos, así como las estrategias adoptadas por los animales para enfrentar el periodo de estrés, provocan una reducción en su desempeño productivo.

Blanco (2009) precisa que, en el ganado lechero, el nivel óptimo de temperatura ambiente para obtener los mejores resultados oscila entre los 13 y 20 °C, con temperaturas por debajo de 13 °C, el animal sufre de estrés de frío, por el contrario, cuando la temperatura fluctúa entre 20 y 24 °C, el animal inicia su utilización de medios para disipar el calor corporal, y a temperaturas por sobre 25 °C, el animal se encuentra en estrés por calor (Araujo, 2011).

Nuestros referentes teóricos parten de la idea que asumir los retos del desarrollo sostenible, y en concreto del cambio climático lo cual supone activar procesos de cambio social que incluyen al menos tres dimensiones según Wals *et al.* (2009): desarrollo del pensamiento sistémico que permita ver las conexiones de los problemas, el uso de la diversidad, y el establecimiento de las sinergias que ofrezcan un apoyo durante el proceso de transformación hacia una sociedad más sostenible. En este sentido, Wals *et al.* (2009) plantean el Aprendizaje Social como un programa a través del cual las personas de una comunidad desarrollan un compro-

miso activo hacia procesos de cambio a largo plazo. Se trata de conseguir que las personas de bagajes y experiencias diferentes aborden juntas y de manera creativa las respuestas a problemas y cuestiones por las que no hay soluciones directas al alcance.

A través de la facilitación de procesos de aprendizaje social, los conocimientos, los valores, y la competencia de acción de los miembros de las comunidades pueden desarrollarse en armonía. De esta forma pueden ampliarse las posibilidades de los individuos, los grupos, y las redes para participar más intensa y eficazmente en la resolución de los problemas emergentes de carácter personal, organizacional o social. Avanzar hacia la sostenibilidad como un proceso de aprendizaje social, sostienen los autores, contrasta con la idea de considerar la sostenibilidad como un producto predeterminado y realizado por expertos.

En congruencia con nuestros referentes teóricos, la perspectiva metodológica que orientó el estudio es de corte cualitativo-interpretativo, en este sentido destacamos el valor de la producción de conocimiento desde y para la región de estudio. Es por eso que la identificación de los conocimientos, actitudes y prácticas de los individuos o la comunidad constituyen la base para implementar estrategias de transformación.

Objetivo

Documentar la visión de los ganaderos de la comunidad productora de leche del municipio de Encarnación de Díaz en la Región de los Altos Norte del Estado de Jalisco a través de sus Conocimientos, Actitudes y Acciones en relación con el cambio climático.

Metodología

Muestra metodología retoma los planteamientos de los modelos de participación basados en la comunidad (*Community-Based Adaptation*) o lo que también denominan metodología participativa (CARE, 2009; Solano, s.f.). Tomamos como base las orientaciones de la Metodología de Análisis de Capacidad y Vulnerabilidad Climática (*Climate Vulnerability and Capacity Assessment: CVCA* por sus siglas en inglés) que ofrece un marco de análisis de vulnerabilidad e identifica la capacidad adaptativa a nivel comunitario (CARE, 2009). Esta metodología tiene dos objetivos principales: a) analizar la vulnerabilidad al cambio climático y la capacidad

adaptativa a nivel comunitario y b) combinar el conocimiento comunitario con la información científica para un mejor entendimiento de los impactos locales del cambio climático.

Dentro de este marco, y con la finalidad de identificar las percepciones sobre el cambio climático y la producción de leche que tienen las personas involucradas directamente en este proceso diseñamos y aplicamos entrevistas semiestructuradas, al momento de la presentación de este artículo se habían llevado a cabo 9 entrevistas en campo.

Los resultados que se presentan de las entrevistas constituyen la base para evaluar la capacidad adaptativa al cambio climático de la comunidad. La entrevista se constituyó de cuatro secciones fundamentales:

- 1) Datos generales del entrevistado,
- 2) Características generales del ganado,
- 3) Conocimientos sobre cambio climático y
- 4) Afectaciones a la salud del ganado asociadas a cambios en el clima.

Para analizar las entrevistas, se transcribieron y se construyeron las categorías sobre ideas previas acerca del cambio climático. Para hacer el análisis se utilizó el software MAXQDA, para análisis cualitativo de entrevistas.

Resultados encontrados

Dentro de las cuatro secciones que constituyeron las entrevistas y descritas en el párrafo anterior, los resultados fueron los siguientes:

Datos generales de los entrevistados

Todas las personas entrevistadas fueron hombres, con un promedio de edad de 40 años y con escolaridades desde preparatoria (11 %), licenciatura (55 %) y posgrado (33 %).

Características generales del ganado

El promedio de las vacas de los hatos de los ganaderos fueron de 344, todas tipo Holstein dedicadas a la producción de leche.

Conocimiento sobre cambio climático

Para analizar esta variable, que incluye múltiples características se tuvo que proceder a dividir en 4 categorías, las cuales a su vez fueron subdivididas en subcategorías como podemos ver a continuación:

- 1) Categoría «Definición»
 - Cambio de clima
 - Actividad humana
 - Composición atmosférica
- 2) Categoría «Evidencias» (De acuerdo a las evidencias anteriormente descritas en este artículo, Sección «Marco Teórico y Conceptual»)
 - Evidencia I
 - Evidencia II
 - Evidencia III
 - Evidencia IV
 - Evidencia V
- 3) Categoría «Fuentes de Información»
 - Internet
 - Libros
 - Diarios
 - Revistas
 - Televisión
 - Radio
 - Cursos especializados
 - Múltiples fuentes
- 4) Ubicación geográfica
 - Internacional
 - Nacional
 - Local

Los resultados obtenidos para cada esta categoría «Conocimiento sobre cambio climático» los podemos ver en el siguiente diagrama realizado a través del programa de análisis cualitativos. El tamaño del punto es directamente proporcional

al número de veces que se hizo mención a esta categoría dentro del discurso de los entrevistados:

Figura 1. Resultados de la categorización de las entrevistas realizadas.



Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación una de las cosas más importantes para construir el conocimiento han sido los testimonios de las personas que han aceptado participar; por lo tanto, a continuación se presentan algunos de los testimonios que fueron clasificados dentro de los resultados:

Abre usted los diarios, abre usted las revistas y ... son contundentes en la información de lo que se está haciendo... ahora eh... por decirlo, el otro día estuve viendo, nada más que a veces la memoria por los nombre, llega a sucederse en un pequeño tropezón pero estuve viendo una nación que se llama Kutmundu... no se si usted la ubica... Está a un... a ver... a veintitantos kilómetros de lo que es el archipiélago de Nueva Zelanda (Entrevista 1)

Cuando... yo he visto ya más el calor, más fuerte los últimos qué serán, diez años, y si he notado como entre más y más tenemos ya más calores (Entrevista 2)

Cada vez va a hacer más calor, como en... ahhh... que va a ocurrir al revés, no se si sea cierto que aquí va a hacer más calor, cada vez más frío y que ps el agua quien sabe si ya ni venga tanto... (Entrevista 5)

Y yo pienso también que ha sido el más drástico... eh... años anteriores no llovía como quisiera uno, pero sí levantaba poquito o los tanques agarraban agua y pos ahorita hay mucha gente que ni agua tiene para sus animales... (Entrevista 5)

Pues ahora sí que las personas mayores que tienen muchos más años en esto y viviendo aquí en la zona nos dicen que nunca había habido una sequía como la de este año [2011] (Entrevista 6).

Mmm pues de lo que yo recuerdo ha sido la sequía más más dura, más severa... (Entrevista 4).

No y la gente... ya... ya... y si este año no llueve... de a tiro desgracia (Entrevista 9).

Afectaciones a la salud del ganado asociadas a cambios en el clima

Entre las afectaciones que los ganaderos han percibido en su ganado encontramos: fiebre de leche, intoxicaciones, problemas respiratorios, neumonías, mastitis, estrés calórico (babeo excesivo, incremento de la respiración, búsqueda de agua, búsqueda de sombra, reducción de la ingesta de alimentos, alteraciones del ciclo reproductivo, disminución en la producción de leche)

Los testimonios de los entrevistados se presentan a continuación alrededor de esta categoría: ¿Ha identificado que algunas cuestiones climáticas le han afectado en la producción de leche?

Por supuesto... la sequía... la sequía... El frío lo soportan bien... Lo soportan bien, más no soportan mucho el calor, el estrés calórico las afecta, entonces la radiación solar y de todo eso... les pone unas... unas tranquizas indeseables, pero que son mucho... usted los ve... sin que nadie los arrié ni nada, los animales que andan fuera a las 12-1 de la tarde, las encuentran bajo un árbol, sin que nadie les diga nada, solitas, sí... las horas fuertes de calor, las procuran pasar en un estiaje o la sombra, ya en la tarde cuando empieza el sol a declinar o a bajar la temperatura ellas buscan... (Entrevista 1).

Sí, se llama, ahorita en el tiempo de calores, hay algo que se nos ha ido aumentando lo que es el estrés calórico.... y si lo estamos ya sufriendo, no lo teníamos (Entrevista 2).

Ante la pregunta «¿esto cómo se manifiesta?», contestaron: «Mira , la vaca cuando hay estrés calórico, eh... comen menos, entonces por ese motivo la vaca va

a producir menos leche, la vaca ehheh se la pasa más en la sombra, con una respiración más...agitada... por el calor» (Entrevista 2)

¿A partir de qué año empezaste tú a identificar este problema en tu ganado?

Cuando... yo he visto ya más el calor, más fuerte los últimos qué serán, diez años, y si he notado como entre más y más tenemos ya más calores, inclusive ya los ganaderos tienen que gastar más en infraestructura de poner tejabanos, poner sistemas de ventiladores con humedad... Desde que inicié yo sólo, este año (refiriéndose a 2011) ha sido el peor, en cuanto a agua y alimento... (Entrevista 2)

Un animal que esté en estrés calórico no le va a producir lo mismo que un animal que esté en confort. Batallamos mucho para medir, no sabemos cuánta producción baja o cuánto deja de crecer o cuánta energía se pierde, este... porque no es muy palpable, pero de que existe, existe (Entrevista 8).

Como podemos ver, el estrés calórico afecta ampliamente el ganado lechero impactando en la productividad del mismo; adicionalmente a esto, nos podemos dar cuenta que los ganaderos perciben al año 2011 como el año más complicado en cuanto a sequía dentro de sus años de experiencia. Esto tuvo severas implicaciones en el abasto e incremento de los alimentos necesarios para el ganado lechero. Situación que se documenta con mayor exactitud en los testimonios que aparecen a continuación:

El alimento mire usted, hay mucho, mucha gente que... acapara y luego después quiere vender a... a un precio en el cual veces la producción no le... no le permite a usted ehheh... (Entrevista 1)

El maíz está ahorita casi a lo triple de cómo estaba.... Si valía 2 pesos ahorita vale 5 y algo... estamos hablando de que nuestros costos son más altos ahorita... alimento todo compro... lo único que tengo es nopal... pero baja la calidad de la leche (Entrevista 2)

No solamente las cuestiones ambientales tienen influencias directas en el ganado, sino también las cuestiones de mercado, los precios han aumentado de forma constante, reduciéndose el rango de ganancia por la venta de leche. Existen problemas de sequía dentro de México que hacen que algunos productores de leche de otros estados vengan a Jalisco a abastecerse de alimento dejando en desventaja

a los productores locales. Este fenómeno también ha propiciado la desaparición de los pequeños productores dado que no pudieron solventar el aumento de precios.

La fuerza de la tradición

Una consideración muy importante es la cuestión histórica y sociocultural, ya que los ganaderos entrevistados han sido personas que tradicionalmente sus familias se han dedicado a la ganadería, sin embargo, lentamente esta tradición se va perdiendo.

¿Además de la familia, cuál fue el principal motivo que te llevó a ser ganadero productor de leche? (Entrevistador 1)

Bueno, pues es que crece uno en, en... que dice uno, entre las vacas de niño y pues ya somos como se dice por ahí, somos ganaderos ya por vocación en esta zona... (Entrevista 2)

«Uy, pues ese es un romance que empezó desde que yo era niño.... Mi abuelo era el que... el que tenía producción, mi padre también... pero yo les hago una... una pregunta bien interesante a muchos... cuántos de sus hijos de las nuevas generaciones están involucrados en el negocio? Y va a ver que se cuentan con los dedos de las mano...» (Entrevista 1)

«Pues ahora sí que tenemos mucho cariño por nuestras tierras aunque sean secas y muchas veces vemos... ranchos con muchísima agua, fuera de aquí de la zona y... pues una... una parte por la que no se cambia uno de sus territorios es por el... ahora sí por el cariño que le tiene uno a su tierra» (Entrevista 6).

La importancia de los conocimientos transmitidos de generación en generación la podemos apreciar en este rubro de la ganadería ampliamente, ya que los saberes se transmiten de abuelo a padre a hijo y así sucesivamente; sin embargo hay que destacar que muchos jóvenes de nuevas generaciones han venido perdiendo el gusto por la tradición familiar y prefieren dedicarse a alguna otra actividad económica. Por otra parte identificamos que el sentimiento hacia la ganadería, el amor y gusto por la actividad ha sido heredado culturalmente.

Conclusiones

- La descripción de los entrevistados así como de los principales problemas presentados en este artículo son el primer acercamiento al terreno del tra-

- bajo; así como la primera clasificación para posteriormente poder analizar la capacidad adaptativa de la comunidad productora de leche en la región.
- Dentro de los ganaderos existe un conocimiento muy general sobre cambio climático, cuando mencionan ejemplos de este fenómeno se remiten a lugares lejanos de nuestra ubicación actual, lo cual nos hace pensar que aún no se toma conciencia de que estamos viviendo ya las consecuencias del cambio de clima. La visión de los ganaderos productores de leche en cuanto a cambio climático es limitada y es totalmente función de su experiencia personal consciente o inconscientemente.
 - Dada la vulnerabilidad que representa el sector productor de leche, la importancia que tiene para el estado de Jalisco y la sensibilidad de las vacas lecheras al cambio climático, la producción de leche es un sector de atención prioritaria, las labores de adaptación en la comunidad y con los mismos productores se debe llevar a cabo de forma inmediata y continua.
 - Las ideas previas que surgen a partir de este primer grana análisis de la información sirve para el diseño de medidas de adaptación adecuadas a la problemática, la cultura y la fuerza de la tradición de quienes se dedican a esta actividad.

Bibliografía

- Araujo R. (2011). Estrés calórico en vacas lecheras, el Salvador. Publicado el 22/05/2011. Disponible en: <http://www.engormix.com>.
- Arias R.A., Mader T.L. y Escobar P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Arch Med Vet (40):7-22.
- Balling R.C. Jr (1980). An assessment of the impact of weather conditions on feedlot cattle performance. Center for Agricultural Meteorology and Climatology. University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, NE. CAMaC Progress Report 80-3.
- Blanco R. (2009). Momento actual del estrés calórico. Docente de la Universidad Comunera. Disponible en: <http://www.Engormix.com/MA-ganaderia-leche/manejo/articulos/estres-en-vacas-t3385/124-p0.htm>.
- CARE (2009). Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook <http://www.careclimate-change.org/cvca/CARE_CVCAHandbook.pdf>.
- Conrad J.H. (1985). Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: Yousef M.K. (ed.). Stress Physiology in Livestock Volume II Ungulates. CRC Press Boca Raton, Florida, EUA, Pp 205-226.
- De Dios Vallejo O.O. (2001). Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo. Colección José N. Rovirosa: Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México.
- INE (2010). Cambio climático en México. ¿Qué es el fenómeno del cambio climático? Disponible en: http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/queeselcc/queeselcc.html

- Johnson H.D (1987). Bioclimates and Livestock. En: Jhonson HD (Ed.) World Animal Science B5 Bioclimatology and the Adaptation of Livestock. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. pp. 3–16.
- MAFF, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (2000). Climate change and agriculture in the United Kingdom. PB4876. Summary A4.
- Schimmelpfennig D., Lewandowski J., Reilly J. , Tsigas M. y Parry I. (1996). Agricultural adaptation to climate change: Issues of longrun sustainability. Agricultural Economic Report núm. AER740, USDA, EUA.
- Solano, D. (s.f.). Estrategias de Comunicación y Educación para el Desarrollo Sostenible. Chile: UNESCO.
- Wals, A., Hoeven, N. y Blanken, H. (2009). The Acoustics of Social Learning. Designing social processes that contribute to a more sustainable world. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.

Use of artificial intelligence paradigm to model ERP system selection process based on results of empirical studies applied in Guadalajara, Mexico

AUGUSTO ALBERTO PACHECO-COMER¹

JUAN CARLOS GONZÁLEZ-CASTOLO²

Abstract

The implementation of an Enterprise Resource Planning (ERP) system is one of the most important projects on business optimization that an enterprise could attempt. Their use can be seen at all kind of enterprises. Failure rate keeps high. This research presents results from two empirical studies to understand selection process in Guadalajara, Mexico and how this process affects deployment success. Nine important aspects were included in results, also, a list of knowledge, actions and materials business should possess before and throughout selection process. An Artificial Intelligence paradigm that could be used to teach a Multivariate Linear Regression Supervised Learning algorithm is presented as a possible prediction model. Further research should be done to prove accuracy of this lineal prediction model.

Keywords: Enterprise Resource Planning (ERP); Survey research; Selection; Artificial Intelligence

Introduction

The selection process of an Enterprise Resource Planning (ERP) system is a complex problem. It involves multiple actors and variables since it is an unstructured decision-making process (Simon 1977; Turban and Aronson 1998). ERP system

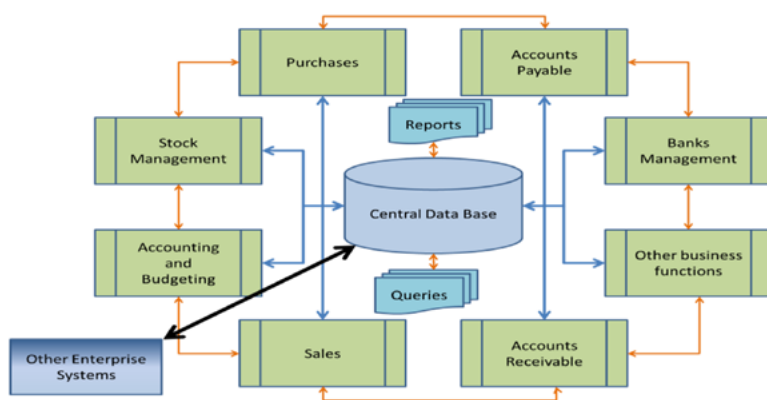
[1] CUCEA-Universidad de Guadalajara, Doctorado en Tecnologías de Información, Estudiante, apacheco@cucea.udg.mx.

[2] CUCEA-Universidad de Guadalajara, Doctorado en Tecnologías de Información, Investigador titular, jcgcastolo@cucea.udg.mx.

is an information system that incorporates most of the data that an organization can register as a result of its daily operations.

All the functional and procedural operations are integrated and related between each other in one great system, as seen on figure 1. Thus, the implementation of this kind of systems requires a great volume of corporative effort since, as an Enterprise System (ES); it enforces a change in the organizational culture (T. H. Davenport 1998; Thomas H Davenport 1999; Thomas H. Davenport 2000). ERP systems are increasingly important in today businesses, as they have the ability to support organizational strategies, integrate flow of information and enhance competitive advantages and individual performance (Davide Aloini, Dulmin, and Mininno 2007; Grabot and Botta-Genoulaz 2005; Botta-Genoulaz, Millet, and Grabot 2005; Hoermann *et al.* 2011).

Figure 1. ERP Anatomy



As its impact distresses the entire organization, the ERP system chosen to be implemented should be the right one (Karimi, Somers, and Bhattacharjee 2007; Somers and Nelson 2004). Beside, other Enterprise Systems (ES) normally are implemented together with the ERP -adding complexity to the implementation- such as: Customer Relationship Management (CRM), Supply Chain Management (SCM), Human Capital System (HCS), Business Intelligence (BI), etc. The implementation of ERP systems is not an inexpensive or risk-free venture. An estimate

of 40 to 70 % of ERP implementations experienced some degree of failure (Frano 2008), which is why an organization should select the most appropriate ERP system to their business needs and use a well proved methodology for deployment. Therefore, the research hypothesis handled to be proven is:

“An Enterprise Resource Planning system selection process based on a model created using an artificial intelligence paradigm can help to determine success rate of ERP system implementation”.

The research question, based in research methodology (Hernández Sampieri, Fernández Collado, and Baptista Lucio 2010; Namakforoosh 2010), is:

How variables of the selection process could be used by an Artificial Intelligence (AI) paradigm to model the ERP selection process?

Therefore, this paper is divided into the following sections: Section 2: Critical Success Factors (CSFs) of selection and implementation processes of ERP systems. Section 3 presents models and AI paradigms used in literature for selection process. Section 4 describes results of the empirical study that was applied to a sample of businesses located in Metropolitan Zone of Guadalajara Mexico (ZMG, by its Spanish acronym) to identify selection variables and their relationships. Section 5 describes how an AI paradigm could be used to model ERP selection process. Section 6 presents conclusions, findings and thoughts concerning the application of AIs to model the selection process of ERP systems and future work that can be done.

Critical success factors on ERP systems

The main goals of an ERP system are: To automate business processes (Ahituv, Neumann, and Zviran 2002), to improve interactions and communications inside and outside organization (Momoh, Roy, and Shehab 2010) and to eliminate patch work to legacy systems (Lau 2003). Its implementation success is affected by CSFs (Garcia-Sanchez and Perez-Bernal 2007; Greci and Hull 2004; Maldonado 2008). “CSF is defined as the limited number of areas in which results, if satisfactory, will ensure successful competitive performance for the organization”(Garcia-Sanchez and Perez-Bernal 2007).

A literature review done in several publishing repositories, such as: Elton B Stephens Company (EBSCO), Springer, Association of Computer Machinery (ACM), Association of Information System (AIS) and Institute of Electrical and

Electronics Engineers (IEEE); using as keywords: “Enterprise Resource Planning” and “Selection” and “Critical Success Factors”; results in 873 references. Identifying 97 valid references where the abstract aim point to ERP systems, its selection or implementation process, beside CSF and implementation methodologies. From these 97 references there were 11 references regarding ERP definitions, 30 present compilations of CSFs on ERP projects, 29 present compilations of ERP implementations models phases, 39 references mention ERP selection models and two present post-implementation items that should be keep under control.

With these literature review we found that research on CSFs for ERP systems is a very well researched topic and selecting the appropriate system is one of the CSFs (Pacheco-Comer and González-Castolo 2011a). So, if the appropriate selection process is used It could improves ERP system implementation (Pacheco-Comer, González-Castolo, and Garcia-Sanchez 2011). But the variables associated to the selection process and how those variables are related, is not well researched on literature. Consequently, our research will be focused to identify those variables and the relationships between them, by applying an empirical study to a sample of companies at ZMG.

Artificial Intelligence paradigms used on ERP selection process

Different research groups proposed diverse evaluation and artificial intelligence paradigms to improve selection processes, as show in table 1, including Weighted Scoring Method (WSM) (Ahituv, Neumann, and Zviran 2002; Chiesa 2004; Das Neves, Fenn, and Sulcas 2004), Analytic Hierarchy Process (AHP) (Nikoukaran, Hlupic, and Paul 1998; Carvallo, Franch, and Quer 2007; Perera and Costa 2008; Karaarslan and Gundogar 2009; Keçek and Yildirim 2010), Fussy Logic (FL) (Kahraman, Büyüközkan, and Ruan 2004; Ayag and Özdemir 2007; Bueno and Salméron 2008; Cebeci 2009; Xuejun, Mingxin, and Zhuojun 2006; Ya-Yueh 2010; D Aloini, Dulmin, and Mininno 2010), Analytic Network Process (ANP)(Buşe and Siminică 2010; Dimitrova 2008; Razmi, Sangari, and Ghodsi 2009; Yazgan, Boran, and Goztepe 2009; Razmi and Sangari 2008), Systematic Help ERP Acquisition (SHERPA)(Burqués, Franch, and Pastor 2000; Pastor and Estay 2000), Priority Matrix (PM)(Botella *et al.* 2003), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)(Wu, Lin, and Lee 2010; Razmi and Sangari 2008), Data

Envelopment Analysis (DEA)(Bernroider and Stix 2007; Llal and Teyarachakul 2006), Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE)(Razmi and Sangari 2008) and Hybrid Knowledge Based System (HKBS)(Perera and Costa 2008; Keçek and Yildirim 2010; Jadhav and Sonar 2009).

Table 1. ERP Selection evaluation models source

WSM	AHP	FL	ANP	SHERPA	PM	PRO METHEE	TOPSIS	DEA	HKBS
Ahituv	Nikoukaran	Kahraman	Ayag	Burqués	Botella	Razmi	Razmi	Llal	Jadhav
Chiesa	Carvalho	Ayag	Dimitrova	Pastor	Dimitrova				
Muñiz	Perera	Bueno	Yazgan		Jadhav				
Reuther	Karaarslan	Cebeci	Razmi						
Das Neves	Cebeci	Razmi	Fan						
Carvalho	Jadhav	Ya-Yueh							
Jadhav	Keçek								
Bernroider	Ya-Yueh								
Fan									
Haghighi									

Since not all of the techniques and models presented fully help businesses to understand the ERP selection problem and how they can apply those models to solve it and in behalf of simplifying their use. We propose Multi Agents Systems (MAS), Knowledge Discovery in Databases (KDD) or Evolutionary Computation (EC) as AI paradigms that could be apply to ERP selection process since they are paradigms that are mentioned in literature as paradigms that help on decision problems and also they are not mentioned on ERP selection literature. Therefore, we studied these AI paradigms looking for a way to improve the ERP selection process.

Agent-based system is one of the tools used by AI to find solutions to complex problems (J. F. Zhang *et al.* 2011; H. Zhang and Liang 2006). MAS seek to address the trends in computer science such as ubiquity, interconnectedness and intelligence (Wooldridge 2002). An agent is a computer system capable of undertaking activities independently for the benefit of its owner or user. A MAS consists of a set of agents that interact within an environment, which act on behalf of the objectives and motivations of their owners, the behavior infused into the agents is important because this behavior can be benevolent or selfish (Lesser 2003). Agents have the ability to cooperate, coordinate and negotiate; looking at all times to fulfill the purposes they were created for (Kehagias *et al.* 2004). More-

Data mining techniques could provide knowledge, given that data mining is useful to identify valid, understandable and functional novel correlations and patterns. The application of data mining techniques is one of the steps in the process of Knowledge Discovery in Databases (KDD)(Jackson 2002). This process includes pre-processing, sorting, cleaning and interpreting the results of the data mining application, verifying that the knowledge gained from the data is useful. The analysis of the literature in EBSCO, ACM; AIS; Springer and IEEE, using as keywords: "Enterprise resource planning", "Data mining" and "Selection process"; found no references, not because there is no interest on this topic, maybe because there is not enough published and recorded data about the selection process conducted by thousands of enterprises around the globe that have already selected and implemented ERP systems, thus, the application of this technique to the empirical surveyed data could help us understand the selection process as we try to identify a model or behavior patterns within that data. Given that the amount of data collected is not totally satisfactory to apply data mining analysis and technique, additional analyzes were not performed.

Evolutionary Computing (EC) uses heuristic algorithms to better understand the process of creation and development of AI using computational tools. EC elements include learning, adaptation and optimization of the process to obtain desired results, which in this case corresponds to the identification of the best solution of the problem(Engelbrecht 2002; Koza 1998; Guo *et al.* 2011; Ip *et al.* 2000): The best process for selecting an ERP system. According to Koza, the most important steps to use a conventional genetic algorithm as a fixed chain are (Koza 1998): (1) To determine the schema to represent, (2) To determine the extent of fitness, (3) To determine the parameters and variables that control the algorithm and (4) To determine how the nomination of completion criteria and results reach the optimal value to stop algorithm execution. This model requires the definition of a gene or chromosome chain that uses the various elements that have been identified, such as best practices in selection process of ERP systems (Fan and Jinliang 2010; Kahraman, Beskese, and Kaya 2010; Pabedinskaitė 2010; Salmeron and Lopez 2010; Hoermann *et al.* 2011; Chen, Law, and Yang 2009; Lechtchinskaia, Uffen, and Breitner 2011; Tsai *et al.* 2012). The fitness measure of individuals corresponds to the method of evaluation of each of the registered genes that have a favorable impact on the success of the installation and use of ERP system. Ad-

ditional work that can be done is the identification of gene chain and the fitness function. These elements could be extracted from an empirical study.

Our ideas led us to think that there could be other AIs that can be used to model ERP selection process and improving it as we can gives computers the ability to learn without being explicitly programmed (Yu 2011; Samuel 1959) and “A computer program is said to learn from experience E with respect to some task T and some performance measure P, if its performance on T, as measured by P, improves with experience E.” as Tom Mitchell said (Mitchell 1997). The empirical study results can help us understand how we could use AIs to model the ERP selection process since we will have data to analyze and enter into an AI supervised learning paradigm.

Empirical Study to Understand ERP Selection Process

From our hypothesis, there could be a set of variables that can be identified to understand the ERP selection process. So, we did an empirical study to identify the set of variables that could be used in an AI model to improve ERP selection process and predict its grade of success.

We introduce quantitative and qualitative elements in our empirical survey as follow, since research theory said that this kind of elements should be included (Namakforoosh 2010):

- Evaluation criteria,
- Environmental elements of the decision,
- Identification of decision takers and stakeholders,
- Selection methodology and elements followed on past decisions and
- Definition of success for ERP delivery
- Our empirical study was divided in sections and each section characteristics include:
 - A division by research topic,
 - Use of closed questions,
 - Use of ordinal categories answers with a five Likert points scale:
 - Very low importance
 - Low importance
 - Medium importance

- High importance
- Very high importance

Nine ordinal categories were obtained from literature review of selection methodologies or paradigms. From these nine ordinal categories, one hundred and ten variables were classified. All variables are random discrete, as their numeral of different values is finite and statistical processes can be used to analyze this kind of variables (Mendenhall 1982).

Seven nominal variables were classified to help definition of demographic classifications as Industry, Municipality, Job Position of the surveyed, Place of Foundation of the Company, Role of the surveyed on the ERP project, if business already implemented an ERP system and Brand of the implemented system. The nominal variables gave us the opportunity to validate data results.

The ordinal variables applied to surveyed sample are:

- 3, to identify demographic classification (size, market and investment).
- 6, to clarify why the company decided to implement an ERP system.
- 13, to clarify which actions to include in the ERP system implementation.
- 15, to clarify the criteria for ERP system selection.
- 13, to clarify the departments that have major influence in the decision of which ERP system to choose.
- 10, to describe the elements that determine the success of ERP implementation.
- 11, to clarify the criteria weights assigned in the decision of which ERP to choose.
- 13, to clarify the significance of modules as part of the ERP to choose.
- 9, to clarify the applicability of other ES as part of the ERP implementation.

The ordinal variables applied only to businesses already implemented an ERP system are:

- 8, to qualify the actions taken in the selection process of the ERP implemented.
- 8, to identify the criteria used in the selection of the ERP implemented.

- 1, to identify the time that the implementation took place.

Target population corresponds to economic units reside at ZMG, see Table 2, data was obtained from National Institute of Statistics of Mexico (INEGI) and Information System of Mexican Business (SIEM).

Table 2. Comparison of Economic Units by Municipality and Data Source

<i>Municipality</i>	<i>INEGI A</i>	<i>SIEM B</i>	<i>% C=B/A</i>	<i>SENT D</i>	<i>%E=D/B</i>	<i>COMPLETED F</i>	<i>%G=F/D</i>	<i>%H=F/B</i>
Guadalajara	77 003	49 907	64.81%	3 170	6.35%	85	2.68%	0.17%
Zapopan	24 964	24 698	98.93%	1 715	6.94%	45	2.62%	0.18%
Tlaquepaque	12 838	5 573	43.41%	348	6.94%	14	4.02%	0.25%
Tonala	9 307	2 763	29.68%	89	3.22%	0	0.00%	0.00%
Tlajomulco	3 618	4 468	123.49%	201	4.49%	8	3.98%	0.17%
Total	127 730	87 409	68.43%	5 523	6.31%	152	2.75%	0.17%

Column D presented the total population used in the application of the survey, representing 6.31 % of the SIEM's total population. This percentage corresponds to the total of businesses that had an email address on the SIEM database. The survey was applied on line thus the email was very important. 152 complete surveys were received corresponding to 2.75 % of the sample. Using data from columns A, B and D for a multi-sample comparison analysis, shows that since P-value of 0.248044 on Levine's variance check is greater than or equal to 0.05, there is no statistically significant difference amongst the standard deviations at 95.0 % of confidence level of the samples. So we can say that the results are actually a representation of the population as the F-ratio on the ANOVA table was 2.42319 and the P-value of the F-test was 0.1036. Also, the samples come from normal distributions as the standardized skewness and Kurtosis values comply with those needed for normal distributions as showed on table 3. Those values cannot be greater than 2, which confirm that survey results do represent the population.

Table 3. Normal Distribution Tests by Samples

	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Range</i>	<i>Std. skewness</i>	<i>Kurtosis</i>	<i>Std. kurtosis</i>	<i>Sum</i>	<i>Sum of squares</i>
INEGI	3618.0	77003.0	73385.0	1.71424	3.617490	1.65115000	127730.0	6.81719E9
SIEM	2763.0	49907.0	47144.0	1.26479	1.047900	0.4782990	87409.0	3.15936E9
SENT	89.0	3170.0	3081.0	1.10651	0.186179	0.0849786	5523.0	1.31596E7
COMPLETED	0.0	85.0	85.0	1.08714	0.459513	0.2097380	152.0	951.0E1

Demographic results

Our survey was applied between September, 19th and November, 6th, 2011. 180 surveys were completed. From the completed surveys, there were 152 valid surveys. A total of 29 of the 49 industries classifications, defined by SIEM, were in the results. SIEM industry classification's was used in an attempt to avoid bias. Results showed that 25 % of the surveyed correspond to a non-category industry named "Other". Classifying 80 % of businesses, using 80-20 Pareto's rule, by industry: Other industry corresponds to 25 %; Technology, 13.16 %; Building, 7.89 %; Consulting, 7.89 %; Appliances and communications, 7.89 %; Education, 7.24 %; Science, 3.29 %; Products of plastic, 2.63 %; Oils and vegetal fats, 1.97 %; Automotive, 1.97 %; and Sweet and chocolates, 1.97 %. Businesses by municipality were: Guadalajara, 55.92 %; Zapopan, 29.6 %; Tlaquepaque, 9.2 %; Tlajomulco, 5.30 %; and Tonalá, 0 %.

Most of the people who participated on the survey collaborate in top management positions: Director, 48.03 %; Management, 26.97 %; Head of department, 10.53 %; Supervisor, 1.97 %; and Other positions, 12.50 % (five other positions). The position on the organization of the surveyed people is important to avoid bias, as top management are the people whose made strategic decisions and ERP implementation is an strategic decision, as mentioned in literature.

Businesses by size classification (quantity of employees) were: micro (1 to 10 employees), 31.6 %; small (11 to 50 employees), 23.7 %; medium (51 to 100 employees), 9.2 %; large (101 to 250 employees), 15.1 %; and big (more than 250 employees), 20.4 %. The amount of Investment that the surveyed business could afford for ERP implementation was: Up to 10 thousand Dollars, 48.7 %; up to 50 thousand Dollars, 19.1 %; up to one hundred Dollars, 7.2 %; up to two hundred Dollars, 7.9 %; up to five hundred Dollars, 5.9 %; up to one million Dollars, 4.6 %;

and more than one million Dollars, 6.6 % (On the original survey the currency used was Mexican Pesos applying an exchange rate of 10 Mexican Pesos for each dollar).

Roles of the people surveyed on ERP implementation project were: Top management team, 30.26 %; Implementation team, 10.53 %; Tactic team, 3.29 %; Source of requirements, 11.18 %; Project leader, 30.92 %; not involved, 13.82 %. Most of the people surveyed are in top management team or participated as the project leader; those two roles had greater knowledge regarding the selection and implementation of the ERP system and they have a key role position in order to implement an ERP. Also, as key person on ERP implementation process, they are main target for any empirical survey as their answers are most awareness of the process.

From the total of 152 surveyed: 55.26 % had already selected or implemented an ERP system, their implemented period was: More than a year ago, 63.10 %; up to a year ago, 13.10 %; up to six months ago, 5.95 %; up to three months ago, 1.19 %; on process of implementation, 13.10 %; will start within the period of a year, 1.19 %; and will start in a period longer than a year, 2.38 %. Most of the surveyed, 83.33 %, were using an ERP system in their businesses. The frequency of ERP solutions is: SAP with 17 implementations, In house development with 13, Contpaqi packages with 7, Microsoft Dynamics with 6, Oracle with 5, Netmultix with 3, Totvs protheus with 2 and with one installation of other solutions 26 businesses.

Discrimination of ordinal variables

The ordinal elements are the qualification of the importance of the evaluated variable using a five Likert point scale. The Likert point scale values correspond to a numeric data between 2 and 6. 2 represent a “Very low importance” meaning variable is not important or critical to the evaluated topic. 3 represent a “Low importance” meaning variable is important but not critical to the evaluated topic. 4 represent a “Medium importance” meaning variable is moderate important and critical to the evaluated topic. 5 represent a “High importance” meaning variable is important and critical to the evaluated topic. And 6 represent a “Very high importance” meaning variable is extremely critical and important to the evaluated topic. Value 1 represent a “Do not known”, treated as a missing value for statistics processes.

Discrimination of ordinal variables corresponds to the process to qualify the importance of each of the ordinal variables surveyed. Identifying which of them should be the most relevant to the topic evaluated on the survey. For this purpose a “t student” test was applied to identify if the mean of the values obtained for the variables, on each ordinal class, are statistically significant, equal or greater than the value 5 (High importance). If this value is fulfilled, the variable is relevant and can be used to evaluate further relations between variables, as show in table 3. Thus, the null hypothesis and alternative hypothesis are:

H_0 = the mean of the variable is less than 5 (The variable is not important and critical)

H_a = the mean of the variable is equal or greater than 5 (The variable is critical and important)

An example of the discrimination process is on table 4, the thirteen ordinal variables listed help to elucidate which actions are included in the ERP system implementation:

Only on 4 rows, the mean difference is greater than zero, but still the value is inside the range formed by Lower, and Upper columns, which means that the alternative hypothesis is true, since in these rows there is statistical significance proven. The mean is equal or greater than five.

Table 4. Discrimination Example Results
for Ordinal Variables from «t Student» Test

<i>Variable</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>Mean</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	<i>Accepted</i>
02.01 Have a selection methodology	-1.156	142	-.084	-.23	.06	H_0
02.02 Top management approved selection methodology	1.326	143	.097	-.05	.24	H_0
02.03 Knew and applied selection methodology	-1.479	143	-.111	-.26	.04	H_0
02.04 Had a formal declaration of project team	2.207	147	.149	.02	.28	H_a
02.05 Defined roles and responsibilities of project team	2.547	149	.173	.04	.31	H_a

02.06 Assigned budget to the selection process	0.742	147	.054	-.09	.20	H0
02.07 Have a risk map	-0.184	146	-.014	-.16	.13	H0
02.08 Have a list of benefits of ERP solution delivery	3.032	147	.189	.07	.31	Ha
02.09 Defined total budget of ERP solution delivery	4.869	148	.322	.19	.45	Ha
02.10 Knew the architecture of the enterprise ICT	-0.762	146	-.054	-.20	.09	H0
02.11 Knew the evaluation criteria	-0.104	145	-.007	-.14	.12	H0
02.12 Defined the Evaluation Algorithm	-3.036	141	-.232	-.38	-.08	H0
02.13 Defined deliverables from selection process	0.886	143	.063	-.08	.20	H0

The complete list of variables that fulfill the alternative hypothesis for each division of research topic is presented on table 5. Each division is identified with a prefix on variable name.

Table 5. Complete list of variables that fulfill alternative hypothesis

<i>Variable</i>	<i>Mean</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	<i>Accepted</i>
01 To Harmonize business processes	.220	.09	.35	Ha
01 To Improve use of resources	.384	.25	.51	Ha
01 To Gain a competitive advantage	.179	.03	.32	Ha
02 To have a formal declaration of project team	.149	.02	.28	Ha
02 Defined roles and responsibilities of project team	.173	.04	.31	Ha
02 Had a list of benefits of ERP solution delivery	.189	.07	.31	Ha
02 Defined total budget of ERP solution delivery	.322	.19	.45	Ha
05 Selection criteria Ease of use of the ERP	.311	.19	.43	Ha
05 Selection criteria Obtain information in time and form	.533	.44	.63	Ha
05 Selection criteria To know the TCO	.289	.15	.43	Ha
05 Selection criteria To know features and functionalities	.168	.05	.29	Ha

05 Selection criteria Easy and fast implementation	.255	.13	.38	Ha
05 Selection criteria Integrated solution	.450	.33	.56	Ha
05 Selection criteria Quality and availability of technical and operational support	.345	.22	.47	Ha
06 Selection influence of information technology and communications area	.311	.17	.45	Ha
06 Selection influence of financial area	.477	.37	.59	Ha
06 Selection influence of general ledger area	.236	.09	.38	Ha
06 Selection influence of business administration area	.450	.34	.56	Ha
06 Selection influence of CEO	.427	.30	.56	Ha
06 Selection influence of corporative management	.268	.11	.42	Ha
07 Success by On time expectation	.241	.12	.36	Ha
07 Success by fulfilling features and functionalities	.607	.51	.71	Ha
07 Success by a suitable change management	.283	.15	.41	Ha
07 Success by a suitable relation between time, money and functionalities	.441	.33	.55	Ha
07 Success by improving effectiveness and efficiency of company	.579	.48	.68	Ha
07 Success by achieving operation of the system	.338	.22	.46	Ha
07 Success by achieving that the top management is satisfied with the system	.283	.16	.41	Ha
07 Success by generation of information to decision takers	.552	.45	.65	Ha
07 Success by improvement of customer satisfaction	.510	.39	.63	Ha
09 ERP should include general ledger module	.415	.28	.55	Ha
09 ERP should include banks management module	.164	.02	.31	Ha
09 ERP should include pay account management module	.404	.28	.53	Ha
09 ERP should include debt account management module	.376	.25	.51	Ha
09 ERP should include financial module	.268	.12	.41	Ha
09 ERP should include stock management module	.289	.13	.44	Ha

09 ERP should include budget module	.213	.08	.34	Ha
09 ERP should include sales module	.404	.27	.54	Ha
10 ERP could include BI system integration	.188	.04	.34	Ha
10 ERP could include CRM system integration	.285	.15	.42	Ha

The variables, of how surveyed people qualify the actions taken during the selection process and how the criteria has been used to weight each factor of the ERP systems that had already been implemented in organizations, fulfill the null hypothesis that the variables are not important and critical to the evaluated topic, therefore, those variables are discriminated from the list. The variables that qualified the criteria weights assigned in the decision of which ERP to choose are also discriminated since they fulfill the null hypothesis. Initially we expect that survey results present the most important actions done by organization to select an ERP system. With this data we could identify a relation between certain important actions and the rate of success, but survey results did not allow us to recognize them clearly. Both, the relationship among certain actions and implementation success of an ERP, and the set of elements to be weighted on the selection process should be researched further.

As result of the discrimination process, survey outcomes led us to believe that: ERP systems are being implemented because businesses seek to improve the use of its resources, harmonize their business processes and gain competitive advantage. Therefore the most important actions that organizations conduct to reach those targets on ERP implementations are: Defining total budget of the ERP project, defining roles and responsibilities of project team and having a list of benefits to gain with the ERP system implementation.

The most important criteria to select an ERP system is the fact that the solution allows business to obtain information in time and form, materializing integration and choosing a supplier that delivers quality and availability of technical and operational support. The most influential departments on the process of selecting an ERP system, as show in table 3, are financial business administration and chief executive office. For the surveyed people, success of implementation occurs when the ERP system fulfills feature and functionalities needs, improves effectiveness and efficiency of business, and generates appropriated information to decision takers. Meanwhile, the functional modules that an ERP system should have are

general ledger, sales, pay account management, debt account management, stock management, financial, budget and banks management. Other ES that could be implemented at the same time ERP system is implemented are Customer Relationship Management (CRM) and Business Intelligence (BI). These Enterprise Systems are elementary processes of the business and a real concern for top management, thus become the first priority of quality processes, where something immeasurable can't be improved. CRM modules serve to this purpose, increasing internal knowledge on clients and BI and helping to track strategic and tactical indicators.

The results of the survey show agreement with the implementation objectives of an ERP system, as companies are concerned to increase the efficient and effective use of resources and thus seek to minimize the costs associated with their processes. Although the modules presented do not correspond directly with functions or processes associated with the production of goods and services, but mainly the top management is thinking of reducing administrative costs and get a better manage of their clients, rather than improving their production processes.

Table 6. Simple regression analysis between size and investment

Size	Investment on USD							Total
	Up to \$10 000	Up to \$50 000	Up to \$100 000	Up to \$200 000	Up to \$500 000	Up to \$1 000 000	More than \$1 000 000	
1 Micro	40	7	0	0	0	1	0	48
2 Small	26	9	1	0	0	0	0	36
3 Medium	4	4	3	2	0	1	0	14
4 Large	4	7	5	4	3	0	0	23
5 Big	0	2	2	6	6	5	10	31
Total	74	29	11	12	9	7	10	152

Size and Investment Relation

The first simple relation listed on table 6; corresponds to an obvious relation at first sight, Size versus Investment: depending on the size of the business is the amount of money that the business could spend on an ERP implementation. If the survey results agree with this simple relation, we could conclude that the data

results are valid. In addition, we could find a function to predict the amount of money that a business could spend in relation with its size.

After simple regression analysis had been applied between Size and Investment, the results are contained in table 8. The Pearson correlation of 0.7641 and R-squared of 58.39 % tells us that our hypothesis is correct; the amount of investment depends on size of business.

The predictable function using a linear model does not correspond to the most adequate model, since it only explains 58.39 % of cases. After the application of other correlation models, a more appropriate model is the square root-Y squared-X function denoted as:

Ecuacion 1

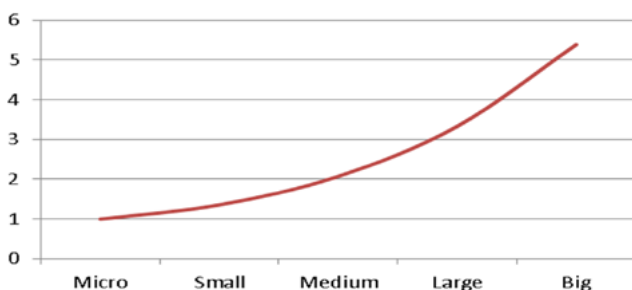
$$Y = (a + b * X^2)^2$$

With this function, the Pearson correlation change to 0.8130 and R-squared explains 66.10 % of cases. There are not influential points in the dataset and there are thirteen unusual points that can be eliminated, as these unusual points correspond to opinions not related with the size of the businesses where the surveyed were employed. After the discrimination of those unusual points, the Pearson correlation change to 0.9124 and R-squared explains 83.25 % of cases. The function equation is:

Ecuacion 2

$$\text{Investment} = (0.943869 + 0.0550766 \text{ Size}^2)^2$$

Figure 3. Graphical Representation of Equation (2)



The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 0.228549. The mean absolute error (MAE) of 0.17126 is the average value of the residuals. Thus, there is not any significant correlation based in the order of the data and there is no indication of serial autocorrelation in the residuals at the 95.0 % confidence level. Therefore, we conclude that the equation (2) predicts future behavior between size and investment in 83.25 % of the cases.

Position and Role

Cross-tabulating Position and Role nominal variables to prove the alternative hypothesis that reads “to a higher position in business, higher involvement during the ERP implementation”, is shown on figure 4.

Figure 4. Cross-tabulating Position and Role nominal variables

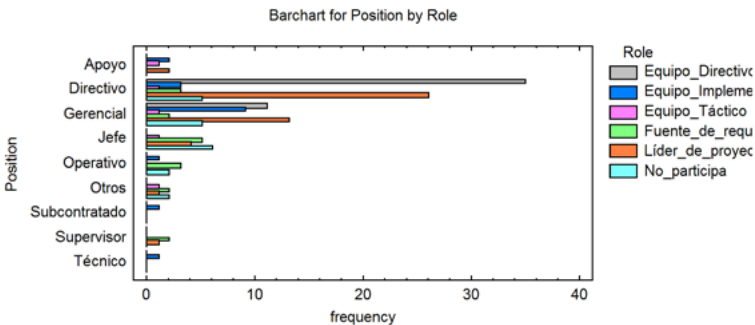


Figure 4 results allow us to say that indeed: “Higher position in business direct to a higher involvement during the ERP implementation. “. On the figure: “Directivo” means Top Management, “Gerencial” means Manager, “Jefe” means head of small department; as job positions. On the role: “Equipo_Directivo” means top management team, “Equipo_Implementac” means implementation team, “Equipo_Tactico” means tactical team, “Lider_de_Proyecto” means project leader, “Fuente_de_requerim” means source of requirements, and “No_participa” means no participation on ERP implementation team.

Empirical study conclusions

The results from the empirical study presented were not conclusive regarding the identification of the set of variables that could be used in an Artificial Intelligence (AI) model to improve ERP selection process and predict its success rate. So a new survey has been done.

Empirical Study to model ERP Selection Process using AI paradigm

Literature review shows that there is a list of knowledge, actions and materials business should possess before and throughout selection process (Pacheco-Comer, González-Castolo, and Garcia-Sanchez 2011; Erol and Ferrell Jr 2003; Ahituv, Neumann, and Zviran 2002). A new empirical study has been done using this information. In this second survey the main goal is to get sample data that could be used in an AI paradigm. Same population and sample of the first empirical study has been used. The survey was applied between November, 19th, and December, 20th 2011. 170 surveys were completed. From the completed surveys, there were 129 valid surveys.

The composition of business size change regarding first survey, a seen on table 7. The composition of the people who participated on the survey collaborates in top management positions: Director, 44.13 %; Management, 35.90 %; Head of department, 7.90 %; and Other positions, 12.20 % (four other positions). The position on the organization of the surveyed people is important to avoid bias, as said before in section 4.

Table 7. Business size comparison
between first and second empirical study

Size	First Survey Percent	Second Survey Percent
Micro (1 to 10 Employees)	31.6	6.8
Small (11 to 50 Employees)	23.7	26.4
Medium (51 to 100 Employees)	9.2	18.4
Large (101 a 250 Employees)	15.1	15.6
Big (more than 250 employees)	20.4	32.8

AI paradigms include supervised and unsupervised learning algorithms. On supervised learning algorithms, the AI paradigm is feed with right answers, a regression or classification algorithm and a set of features or variables (Mitchell 1997). In our case: Grade of satisfaction of ERP system use, Multivariate Linear Regression (MLR) algorithm and the set of features corresponds to the list of knowledge, actions and materials business should possess before and throughout selection process. MLR algorithm is present in equation (3), which represents an equation to model a lineal relation between multiple features:

Equation 3

$$h_0(x) = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n$$

Where $h_0(x)$ correspond to the grade of satisfaction on ERP system use x to each feature need to predict the value of $h_0(x)$. And, θ are the weights of each feature inside the $h_0(x)$ function, features are show on Table 8.

Table 8. List of features to be aware during selection process.

(In function of its x_n value regarding $h_0(x)$ equation (3))

<i>Feature</i>	<i>Feature</i>
x_1.- Business Size	x_14.- Scope Plan Selection Project
x_2.- Amount To Invest	x_15.- Selection Process Justified
x_3.- Outsourcing Support At Selection	x_16.- Formal Definition CSF Selection Project
x_4.- Use A Selection Methodology	x_17.- Formal Definition Assumptions Selection Project
x_5.- Know How of Selection Methodology	x_18.- Risk Plan Selection Project
x_6.- Had Formal Selection Team	x_19.- Communication Plan Selection Project
x_7.- Formal Responsibilities Selection Team	x_20.- TI Feasibility Study
x_8.- Own Selection Process Budget	x_21.- Formal Definition Of Performance Measurement Selection Project
x_9.- Benefit to Gain with ERP Implementation	x_22.- Defined Selection Criteria
x_10.- Must Have Requirement List	x_23.- Deliveries To Obtain Selection Project
x_11.- Could Have Requirement List	x_24.- Solution List To Evaluate
x_12.- Work Flow Formal Documentation	x_25.- Defined Discrimination Process
x_13.- Time Plan Selection Project	$h_0(x)$.- Implementation Grade Of Satisfaction

Octave was used to program the AI algorithm. GNU Octave is a high-level language, primarily intended for numerical computations. It provides an interface for solving linear and nonlinear problems numerically, has extensive tools for solving common numerical linear algebra problems, finding the roots of nonlinear equations, integrating ordinary functions, manipulating polynomials, and integrating ordinary differential and differential-algebraic equations. It also provides graphics capabilities for data visualization. It became a great tool to prototype MLR algorithm. The optimization function used was Gradient Descend (4) that use cost function (5).

Ecuacion 4

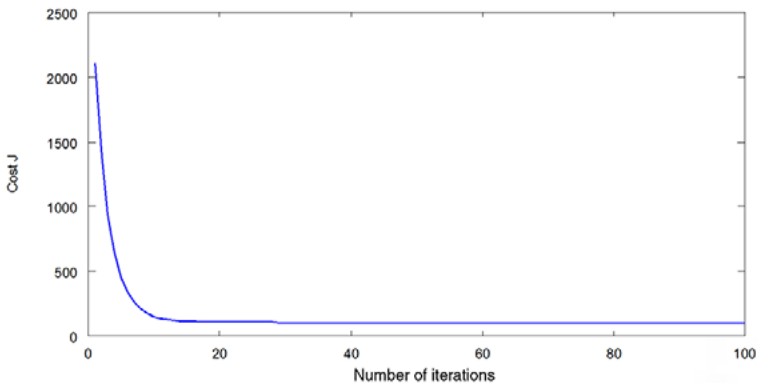
$$\theta_j = \theta_j - \alpha \frac{\partial}{\partial \theta_j} J(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n)$$

Ecuacion 5

$$J(\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n) = y(\theta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x^{(i)}) - y^{(i)})^2$$

The application of equation (4) and (5) with one hundred iterations is show on figure 5. Where we can see how the cost function decrease. The learning rate Figura used was 0.2.

Figure 5. Gradient Descent cost function chart apply to MLR algorithm



After the execution of one million iterations of the gradient descent algorithm (4) and (5), the thetas values to the 25 features of equation (3) are show on table 9.

Table 9. List of thetas values to apply on equation (3),
each theta value correspond to x_n feature

$\theta_0 = 78.1929825000$	$\theta_9 = -7.3119736000$	$\theta_{18} = 5.6354082900$
$\theta_1 = -2.3478586800$	$\theta_{10} = -0.0836010147$	$\theta_{19} = 5.6855609900$
$\theta_2 = -2.5202324800$	$\theta_{11} = 7.1621127400$	$\theta_{20} = 4.2637346800$
$\theta_3 = 0.0602692900$	$\theta_{12} = -4.4726637600$	$\theta_{21} = -2.1945540200$
$\theta_4 = 4.6722930200$	$\theta_{13} = 2.8324053700$	$\theta_{22} = 4.6000766800$
$\theta_5 = 0.3115745350$	$\theta_{14} = -3.1555539200$	$\theta_{23} = 6.2784406900$
$\theta_6 = -4.4703448800$	$\theta_{15} = -1.7085146500$	$\theta_{24} = 5.4093398300$
$\theta_7 = -1.3102351200$	$\theta_{16} = -1.7988939000$	$\theta_{25} = -0.1163339250$
$\theta_8 = 0.4185896440$	$\theta_{17} = -5.1997273100$	

Applying equation (3) with table 9 values we can obtain the grade of satisfaction a business can get if they do or have the elements on table 8. This equation allow business the possibility to predict the grade of success on ERP system use.

Conclusions

There is a great impulse to ERP systems research, aiming to selection, implementation and the identification of models that improves success. The first empirical study helps to understand the selection process at ZMG. The second one helps to know the list of knowledge, actions and materials business should done or possess before selection process to improve grade of satisfaction on use of ERP system.

In this regard, some AI paradigms have been studied that could be used to create a prototype that help on the predictions of ERP implementation success rate based on actions been done in selection stage, this AI paradigms are: Multi Agent and Supervised Learning Regression algorithm as MLR.

The only conclusive result from the first empirical study corresponds to nine important aspects of selection process, presented on section 4: Causes ERP Systems were implemented; Actions been done for selection; Selection criteria; Business departments with major influence on selection; Elements that determine the success of implementation; Criteria weights assigned to selection; Major modules

implemented; Qualification of selection actions been done and; other enterprise systems included on implementation.

Second survey presented the list of actions, knowledge and materials a business should done or possess before selection process and how those features could help us to model a lineal regression algorithm to predict grade of satisfaction on the use of the ERP system implemented.

Further research should be done to evaluate grade of accuracy of equation (3) as prediction model, using empirical study results and new data.

Also if features on table 8 could be used on a supervised learning classification model, comparing their accuracy results against the presented MLR model.

Acknowledgements

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología from México, Universidad de Guadalajara.

References

- Ahituv, Niv, Seev Neumann, and Moshe Zviran. 2002. "A System of Development Methodology for ERP Systems." *Journal of Computer Information Systems* 42: 56.
- Aloini, D, R Dulmin, and V Mininno. 2010. "A Hybrid fuzzy-PROMETHEE Method for Logistics Service Selection: Design of a Decision Support Tool." *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*: 345–369.
- Aloini, Davide, Riccardo Dulmin, and Valeria Mininno. 2007. "Risk Management in ERP Project Introduction: Review of the Literature." *Information & Management* 44: 547–567. doi:10.1016/j.im.2007.05.004.
- Ayag, Z, and R. G. Özdemir. 2007. "An Intelligent Approach to ERP Software Selection Through Fuzzy ANP" 45.
- Bernroider, Edward, and Volker Stix. 2007. "A Method Using Weight Restrictions in Data Envelopment Analysis for Ranking and Validity Issues in Decision Making." *Computers & Operations Research* 34: 2637–2647. doi:10.1016/j.cor.2005.10.005.
- Botella, P., X. Burgues, J. P. Carvallo, X. Franch, J. A. Pastor, and C. Quer. 2003. "Towards a Quality Model for the Selection of ERP Systems." In *Component-Based Software Quality: Methods and Techniques*, 2693:225–245. *Lecture Notes in Computer Science*. //CCC:000185335500011.
- Botta-Genoulaz, V., R. A. Millet, and B. Grabot. 2005. "A Survey on the Recent Research Literature on ERP Systems." *Computers in Industry* 56: 510–522.
- Bueno, S., and J. L. Salmeron. 2008. "Fuzzy Modeling Enterprise Resource Planning Tool Selection." *Computer Standards & Interfaces* 30: 137–147.
- Burqués, Xavier, Xavier Franch, and Joan Antoni Pastor. 2000. *Formalizing ERP Selection Criteria*. Barcelona.
- Buşe, Florin Răzvan, and Marian Siminică. 2010. "The Analysis - Essential Component of ERP Applications." *Young Economists Journal / Revista Tinerilor Economisti* 8: 147–150.
- Carvalho, Juan Pablo, Xavier Franch, and Carme Quer. 2007. "Determining Criteria for Selecting Software Components: Lessons Learned." *Software, IEEE* 24: 84–94.

- Cebeci, Ufuk. 2009. "Fuzzy AHP-based Decision Support System for Selecting ERP Systems in Textile Industry by Using Balanced Scorecard." *Expert Syst. Appl.* 36: 8900–8909. doi:10.1016/j.eswa.2008.11.046.
- Chaturvedi, Alok R., and Shailendra R. Mehta. 1999. "Simulations in Economics and Management." *Commun. ACM* 42: 60–61. doi:10.1145/295685.295854.
- Chen, C. C., C. C. H. Law, and S. C. Yang. 2009. "Managing ERP Implementation Failure: A Project Management Perspective." *Ieee Transactions on Engineering Management* 56: 157–170.
- Chiesa, Florencia. 2004. "Metodología Para Selección De Sistemas ERP." *Reportes Técnicos En Ingeniería De Software* 6: 17.
- Davenport, T. H. 1998. "Putting the Enterprise into the Enterprise System." *Harvard Business Review* 76: 121–+. doi:Article.
- Davenport, Thomas H. 1999. *Ecología De La Información: Por Qué La Tecnología No Es Suficiente Para Lograr El Éxito En La Era De La Información*. vol. 1. Mexico: Oxford University Press.
- Davenport, Thomas H. 2000. "The Future of Enterprise System-Enabled Organizations." *Information Systems Frontiers* 2: 163–180. doi:10.1023/a:1026591822284.
- Dimitrova, V. A. 2008. "Application of the Analytic Network Process (ANP) in a Framework of ERP Systems Implementation Success." In *Intelligent Systems*, 2008. IS '08. 4th International IEEE Conference, 3:20–19–20–24.
- Engelbrecht, Andries P. 2002. *Computational Intelligence An Introduction*. Wiley.
- Erol, Ismail, and William G. Ferrell Jr. 2003. "A Methodology for Selection Problems with Multiple, Conflicting Objectives and Both Qualitative and Quantitative Criteria." *International Journal of Production Economics* 86: 187–199. doi:10.1016/s0925-5273(03)00049-5.
- Fan, Lv, and Chen Jinliang. 2010. "Influencing Factors on ERP System Selection." In *Software Engineering and Service Sciences (ICSESS)*, 2010 IEEE International Conference On, 671–673.
- Frano, Jack. 2008. "The Elusive Meaning of ERP Project Success." <http://it.toolbox.com/blogs/erp-project-planning/the-elusive-meaning-of-erp-project-success-22764>.
- Garcia-Sanchez, Noe, and Luis E. Perez-Bernal. 2007. "Determination of Critical Success Factors in Implementing an ERP System: A Field Study in Mexican Enterprises." *Information Technology for Development* 13: 293.
- Grabot, B., and V. Botta-Genoulaz. 2005. "Special Issue on Enterprise Resource Planning (ERP) Systems." *Computers in Industry* 56: 507–509.
- Grenci, Richard T., and Bradley Z. Hull. 2004. "New Dog, Old Tricks: ERP and the Systems Development Life Cycle." *Journal of Information Systems Education* 15: 277–286.
- Guo, Jianmei, Jules White, Guangxin Wang, Jian Li, and Yinglin Wang. 2011. "A Genetic Algorithm for Optimized Feature Selection with Resource Constraints in Software Product Lines." *Journal of Systems and Software* 84: 2208–2221. doi:10.1016/j.jss.2011.06.026.
- Hernández Sampieri, Roberto, Carlos Fernández Collado, and María del Pilar Baptista Lucio. 2010. *Metodología De La Investigación*. Mexico: McGraw Hill.
- Hoermann, Stefan, Harald Kienegger, Melanie Langermeier, Manuel Mayer, and Helmut Krcmar. 2011. "Comparing Risk and Success Factors in ERP Projects: A Literature Review." In *Americas Conference on Information Systems*, 241. Detroit, Michigan, EUA: AMCIS 2011 Proceedings - All Submissions. http://aisel.aisnet.org/amcis2011_submissions/241.
- Ip, W. H., Y. Li, K. F. Man, and K. S. Tang. 2000. "Multi-product Planning and Scheduling Using Genetic Algorithm Approach." *Computers & Industrial Engineering* 38: 283–296. doi:10.1016/s0360-8352(00)00044-9.
- Jackson, Joyce. 2002. "Data Mining; A Conceptual Overview." *Communications of the Association for Information Systems* 8: 32.

- Jadhav, A., and R. Sonar. 2009. "Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Scoring Method (WSM), and Hybrid Knowledge Based System (HKBS) for Software Selection: A Comparative Study." In *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET)*, 2009 2nd International Conference On, 991–997.
- Kahraman, Cengiz, Ahmet Beskese, and Ihsan Kaya. 2010. "Selection Among ERP Outsourcing Alternatives Using a Fuzzy Multi-criteria Decision Making Methodology." *International Journal of Production Research* 48: 547–566.
- Kahraman, Cengiz, Gülçin Büyükoğkan, and Da Ruan. 2004. *A Fuzzy Heuristic Multi-attribute Conjunctive Approach for ERP Software Selection*. Estambul: World Scientific Publishing.
- Karaarslan, Nevin, and Emin Gundogar. 2009. "An Application for Modular Capability-based ERP Software Selection Using AHP Method." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 42: 1025–1033. doi:10.1007/s00170-008-1522-5.
- Karimi, Jahangir, Toni M. Somers, and Anol Bhattacharjee. 2007. "The Role of Information Systems Resources in ERP Capability Building and Business Process Outcomes." *Journal of Management Information Systems* 24: 221–260.
- Keçek, Gülnur, and Esra Yildirim. 2010. "Selection of Enterprise Resource Planning (ERP) by Analytic Hierarchy Process: An Application in Automotive Sector" 15: 193–211.
- Kehagias, Dionisis, Andreas L. Symeonidis, Kyriakos C. Chatzidimitriou, and Pericles A. Mitkas. 2004. "Information Agents Cooperating with Heterogenous Data Sources for Customer-order Management." In *Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing*. Nicosia, Cyprus: ACM. doi:10.1145/967900.967915.
- Koza, John R. 1998. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. Massachusetts Institute of Technology.
- Lau, Linda. 2003. "Developing a Successful Implementation Plan for ERP: Issues and Challenges." In *International Association for Computer Information Systems*, 4:223–229. Las Vegas, Nevada, EUA: International Association for Computer Information Systems.
- Lechtchinskaia, Lubov, Jörg Uffen, and Michael H. Breitner. 2011. "Critical Success Factors for Adoption of Integrated Information Systems in Higher Education Institutions - A Meta-analysis." In *Americas Conference on Information Systems*, 53. Detroit, Michigan, EUA: AMCIS 2011 Proceedings. http://aisel.aisnet.org/amcis2011_submissions/53.
- Lesser, Victor R. 2003. *Multi-agent Systems*. John Wiley and Sons Ltd.
- Llal, Vinod, and Sunantha Teyarachakul. 2006. "Enterprise Resource Planning (ERP) System Selection: A Data Envelopment Analysis (DEA) Approach." *Journal of Computer Information Systems* 47: 123–127.
- Maldonado, Miguel. 2008. "El Impacto De Los Factores Críticos De Éxito En La Implementación De Sistemas Integrados De ERP. (Spanish)." *Cuadernos De Difusión* 13: 77–118.
- Mendenhall, William. 1982. *Introducción a La Probabilidad y La Estadística*. Florida: Wadsworth Internacional/Iberoamérica.
- Mitchell, Thomas M. 1997. *Machine Learning*. 1st ed. Nueva York, NY, EUA: McGraw-Hill, Inc.
- Momoh, Roy, and Shehab. 2010. "Challenges in Enterprise Resource Planning Implementation: State-of-the-art." *Business Process Management Journal* 16: 537 – 565.
- Namakforoosh, Mohammad Naghi. 2010. *Metodología De La Investigación*. Mexico: Limusa.
- Das Neves, D., D. Fenn, and P. Sulcas. 2004. "Selection of Enterprise Resource Planning (ERP) Systems." *South African Journal of Business Management* 35: 45.
- Nikoukaran, Jalal, Vlatka Hlupic, and Ray J. Paul. 1998. "Criteria for Simulation Software Evaluation." In *Winter Simulation Conference*, 1:399–406.
- Pabedinskaitė, Arnoldina. 2010. "Factors of Successful Implementation of ERP Systems." *Economics & Management*: 691–697.

- Pacheco-Comer, Augusto Alberto, and Juan Carlos González-Castolo. 2011a. "A Review on Enterprise Resource Planning System Selection Process." *Research in Computing Science* 52: 204–213.
- . 2011b. "Multi Agents System for Enterprise Resource Planning selection process using distributed computing architecture." In *More than Research Conference Proceedings ISUM 2011*, 2:37–49. More than Research 2. San Luis Potosí, México: Universidad de Guadalajara. https://www.researchgate.net/publication/215641284_Multi_Agents_System_for_Enterprise_Resource_Planning_selection_process_using_distributed_computing_architecture.
- Pacheco-Comer, Augusto Alberto, Juan Carlos González-Castolo, and Noe Garcia-Sanchez. 2011. "Methodological Proposal to Implement Enterprise Resource Planning Systems." In *Americas Conference on Information Systems*, 17:136. Detroit, Michigan, EUA: Association for Information Systems. http://aisel.aisnet.org/amcis2011_submissions/136/.
- Pastor, Joan, and Christian Estay. 2000. *Selección De ERP En Pequeñas y Medianas Empresas Con Un Proyecto De Investigación – Acción*. Barcelona.
- Perera, H. S. C., and W. K. R. Costa. 2008. "Analytic Hierarchy Process for Selection of ERP Software for Manufacturing Companies." *Vision* (09722629) 12: 1–11.
- Razmi, J., and M. S. Sangari. 2008. "A Hybrid Multi-criteria Decision Making Model for ERP System Selection." In *Information and Automation for Sustainability*, 2008. ICIAFS 2008. 4th International Conference On, 489–495. <http://10.1109/ICIAFS.2008.4783990>.
- Razmi, J., M. S. Sangari, and R. Ghodsi. 2009. "Developing a Practical Framework for ERP Readiness Assessment Using Fuzzy Analytic Network Process." *Advances in Engineering Software* 40: 1168–1178.
- Salmeron, Jose L., and Cristina Lopez. 2010. "A Multicriteria Approach for Risks Assessment in ERP Maintenance." *Journal of Systems and Software* 83: 1941–1953. doi:10.1016/j.jss.2010.05.073.
- Samuel, A. L. 1959. "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers." *IBM Journal of Research and Development* 3 (3) (July): 210–229. doi:10.1147/rd.33.0210.
- Simon, Herbert Alexander. 1977. *The New Science of Management Decision*. Prentice Hall PTR.
- Somers, Toni M., and Klara G. Nelson. 2004. "A Taxonomy of Players and Activities Across the ERP Project Life Cycle." *Information & Management* 41: 257–278.
- Tsai, Wen-Hsien, Pei-Ling Lee, Yu-Shan Shen, and Hsiu-Ling Lin. 2012. "A Comprehensive Study of the Relationship Between Enterprise Resource Planning Selection Criteria and Enterprise Resource Planning System Success." *Information & Management* 49: 36–46. doi:10.1016/j.im.2011.09.007.
- Turban, Efrain, and Jay Aronson. 1998. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Prentice Hall.
- Wooldridge, Michael. 2002. *An Introduction to Multi Agents Systems*. Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Wu, Cheng-Shiung, Chin-Tsai Lin, and Chuan Lee. 2010. "Optimal Marketing Strategy: A Decision-making with ANP and TOPSIS." *International Journal of Production Economics* 127: 190–196. doi:10.1016/j.ijpe.2010.05.013.
- Xuejun, Xu, Zou Mingxin, and Xie Zhuojun. 2006. "A Study on the Application of Fuzzy MADM to ERP System Selection." In *Intelligent Control and Automation*, 2006. WCICA 2006. The Sixth World Congress On, 2:7181–7185. doi:10.1109/wcica.2006.1714479.
- Ya-Yueh, Shih. 2010. "A Study of ERP Systems Selection via Fuzzy AHP Method." In *Information Engineering and Electronic Commerce (IEEC)*, 2010 2nd International Symposium On, 1–4.
- Yazgan, Harun Resit, Semra Boran, and Kerim Goztepe. 2009. "An ERP Software Selection Process with Using Artificial Neural Network Based on Analytic Network Process Approach." *Expert Systems with Applications* 36: 9214–9222. doi:10.1016/j.eswa.2008.12.022.

- Yu, Min-Chun. 2011. "Multi-criteria ABC Analysis Using Artificial-intelligence-based Classification Techniques." *Expert Systems with Applications* 38: 3416–3421. doi:10.1016/j.eswa.2010.08.127.
- Zhang, H., and Y. Liang. 2006. "A Knowledge Warehouse System for Enterprise Resource Planning Systems." *Systems Research and Behavioral Science* 23: 169–176.
- Zhang, Jian Fu, Zhi Jun Wu, Ping Fa Feng, and Ding Wen Yu. 2011. "Evaluation Systems and Methods of Enterprise Informatization and Its Application." *Expert Systems with Applications* 38: 8938–8948. doi:10.1016/j.eswa.2011.01.111.

Digestibilidad y ganancia de peso de borregos Pelibuey alimentados con bagazo de agave Tequilana tratado con álcali¹

F. J. PAREDES-IBARRA,² J. R. OROZCO-HERNÁNDEZ,³

H. VERDÍN-SÁNCHEZ,⁴ V. O. FUENTES HERNÁNDEZ,⁵

O. D. MONTAÑEZ-VALDEZ Y E. ALVARADO-LOZA⁶

Resumen

La agroindustria tequilera tiene la problemática de manejar sus desechos sólidos, sobre todo los lignocelulósicos, como es el caso del bagazo. Se utilizaron nueve borregos machos encastados de la raza Pelibuey, alojados individualmente en jaulas elevadas provistas de comedero y bebedero, en un experimento con arreglo factorial 3 x 3 para determinar el efecto de tratar el bagazo de agave Tequilana con 4 % NaOH, considerando como parámetro de respuesta la digestibilidad y ganancia de peso. Al incluir el residuo en 25 % del alimento se observó una mejora en el consumo y la digestibilidad ($P < 0.05$) sin afectar la ganancia de peso o consumo de agua ($P > 0.05$). Por lo tanto, se puede emplear el bagazo de agave como alimento de ovinos sin efecto en la productividad.

Palabras clave: agave bagazo, ovino, digestibilidad

Introducción

En el eje agro-ganadería existe una estrecha relación del empleo de productos agrícolas en la alimentación animal con la productividad del sector pecuario, princi-

[1] Proyecto con apoyo de COECYTJAL 06-2009-523.

[2] Egresado de la Maestría en Ciencias en Nutrición Animal.

[3] Cuerpo académico Sistemas Pecuarios, Departamento de Ciencias Biológicas, CUALTOS.
Email: rorozco@cualtos.udg.mx.

[4] Departamento de Salud Pública, CUCBA.

[5] Cuerpo académico Sistemas Pecuarios, Departamento de Ciencias Biológicas, CUALTOS.

[6] Egresado de la Maestría en Ciencias en Nutrición Animal.

palmente con fines de reducir costos del rubro. Por ello, es frecuente observar que la agricultura tiene de manera paralela a la ganadería, debido principalmente a la dependencia de las especies animales de granja con los productos que se obtienen del cultivo de granos y cereales. Además, en ciertos casos el proceso tiene como objetivo que la agricultura conserve la producción de insumos alimenticios para los semovientes productores de alimentos destinados al ser humano.

Marco teórico

Los residuos lignocelulósicos están representados principalmente por los obtenidos de la cosecha en la agroindustria, así como de aquellos generados por la industrialización de los productos primarios para consumo humano, tal es el caso de las pastas de oleaginosas generadas al extraer el aceite de la semilla. Una gran variedad de estos residuos (rastros de granos) de variable naturaleza lignocelulósica son empleados en la alimentación de rumiantes domésticos (bovinos, ovinos, caprinos), principalmente debido a que esta especie cuentan con una población microbiana a nivel de su tracto gastrointestinal que colabora de manera simbiótica en el rompimiento de enlaces con la lignina (Harmsen *et al.*, 2010; Karp *et al.*, 2013: 679-689), sin embargo dada su composición nutrimental deben ser suplementados con otros insumos para llenar las necesidades de la especie animal que los recibe.

Generalmente la producción de granos es la principal proveedora de residuos de cosecha, sin embargo es insuficiente para abastecer de este insumo a la industria pecuaria, por lo tanto se busca constantemente el empleo de otros ingredientes alternativos para lograr el objetivo productivo a bajo costo (López-Nevarez *et al.*, 2012; Moore y Jung, 2001; Salama *et al.*, 2011: 327-337). Además, debido a lo anterior se tiende a complementar los residuos con ingredientes que colaboren a proveer de energía, como es el caso de las melazas tanto de azúcar como de betabel, así como de fuentes de azufre para que la microbiota que habita de manera simbiótica el complejo retículo-rumen pueda realizar su acción celulolítica.

Pero de acuerdo con los reportes, algunos residuos por su contenido de lignina, ven disminuido su aprovechamiento por el animal, sin embargo, se reduce de esta manera su impacto medio-ambiental al emplearlos como ingrediente en su alimento. Por esta razón, se han investigado formas de reducir la relación de este componente con los glúcidos estructurales de los vegetales para que la fibra

pueda ser aprovechada la alimentación del rumiante (Moore y Jung, 2001:420-430; Suksombat, 2004:1430-1433). Ejemplo de lo anterior son los tratamientos alcalinos, los que realizan la solubilización de la lignina y liberan las hemicelulosas, aumentando así la disponibilidad de los nutrimentos contenidos en la estructura celular de los residuos lignocelulósicos y de esta manera favorecer su aprovechamiento por el animal (Graber, 2005: 820-831; Hendrix y Zeeman, 2009:10-18; Kim y Holtzaple. 2005: 194-206).

Por otro lado, la agroindustria tequilera tiene la problemática de manejar sus desechos sólidos, sobre todo los lignocelulósicos, como es el caso del bagazo y las pencas (Ramírez-Cortina *et al.*, 2012: 69-77). Simplemente relacionar la cantidad de agave que es industrializada diariamente y con el potencial que tiene la región en producción de tequila se percibe un problema de deposición y uso del residuo agroindustrial.

Dicho residuo contiene lignina en aproximadamente 14% que puede variar con la edad de la planta al momento de la cosecha (Iñiguez *et al.* 2001: 25-32; Moore y Jung, 2001). Afortunadamente se cuenta con la tecnología de uso de sustancias alcalinas para romper la relación entre la lignina y la celulosa, como lo ha mostrado el empleo de hidróxido de sodio para mejorar la utilización digestiva de residuos lignocelulósicos (Chandra *et al.*, 2007: 67-93; Karp *et al.*, 2013: 679-689; Mosier *et al.*, 2005: 673-686). Sin embargo, pocos son los estudios realizados con pequeños rumiantes, como es el caso de ovino, cuando el bagazo de agave es tratado con hidróxido de sodio (NaOH).

Objetivo

Evaluar el efecto del tratamiento alcalino del bagazo de agave tequilero en la alimentación del ovino de pelo.

Material y métodos

El estudio se realizó en su aspecto de campo en las instalaciones ovinas del Instituto de Investigaciones Sustentables ubicado en el kilómetro 4 de la carretera Tepatitlán a San José de Gracia, en las coordenadas 20° 54' 50» y los 21° 01' 30» de latitud norte y los 102° 33' 10» a los 102° 56' 15» de longitud oeste con una altitud de 1800 msnm. Se contó con la constante supervisión de un Médico Veterinario con lo que se cumplió con los lineamientos estatales de protección animal. Así

como en el laboratorio de forrajes del Departamento de Ciencias Biológicas del Centro Universitario de Los Altos de la Universidad de Guadalajara.

Se obtuvo bagazo de agave de una fábrica de tequila localizada en la zona conurbada de Tepatlán de Morelos, Jalisco.

El residuo agroindustrial se deshidrató al sol hasta un peso constante, posteriormente fue tratado con una solución de 4 % de hidróxido de sodio (NaOH) por aspersión manual y se almacenó durante un lapso de diez días antes de ser empleado. Después de este tiempo el tamaño de la partícula del bagazo (tratado y sin tratar) se redujo con un molino estacionario de cuchillas empleando una criba con orificios de 2.5 cm de diámetro.

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron nueve borregos machos (peso vivo 17 ± 2 kg) encastados de la raza Pelibuey, alojados individualmente en jaulas elevadas (80 x 120 x 60 cm) a una altura de 80 cm del piso, las cuales estaban provistas de comedero y bebedero, así como piso plástico cribado y malla ventral para recolección de heces.

El experimento tuvo un arreglo factorial 3×3 para determinar el efecto del bagazo de agave Tequilana, considerando como parámetro de respuesta, la digestibilidad y ganancia de peso, para evaluar estadísticamente los anteriores parámetros se estableció un alfa de 0.05 para declarar diferencias entre los diferentes tratamientos evaluados, empleado en paquete estadístico SAS.

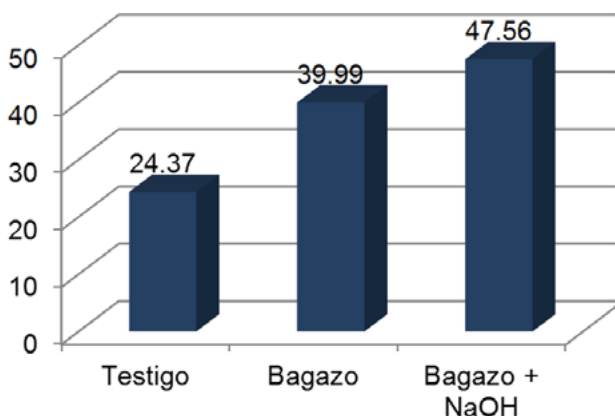
Resultados y discusión

El bagazo es reconocido por ser un elemento fuertemente lignificado (15 % en base seca) por lo que cuando se incluyó el residuo de la industrialización del agave al alimento de los borregos (25 % del total) se observó un incremento sustancial en el consumo del mismo ($P < 0.05$; 630, 810 y 733 gramos/día para el testigo, bagazo, bagazo+4 % NaOH, respectivamente), lo que posiblemente se relaciona con la baja disponibilidad de los componentes en el caso del residuo sin el tratamiento alcalino, así como de la presencia de glúcidos no estructurales residuales. Iñiguez-Covarrubias *et al.* (2001) al incluir el bagazo en una relación de 62 % en el alimento del ovino reportaron un consumo de 776 g diarios, lo que se acerca a lo encontrado en el actual estudio.

La ganancia diaria de peso de los borregos no fueron afectados significativamente ($P > 0.05$; 111, 143, 95 g/día para el testigo, bagazo, bagazo+4 %

NaOH, respectivamente), de igual manera el consumo de agua por parte del animal no sufrió variación ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos con respecto al testigo. Los autores Pinos-Rodríguez *et al.* (2006) al emplear bagazo de otra agaveacea incrementaron la ganancia diaria de peso en borregos, pero cabe mencionar que en el estudio se empleó más de 60 % de concentrado en el alimento que se les ofreció. En cambio, en la investigación realizada por Iñiguez-Covarrubias *et al.* (2001) con corderos de la raza Pelibuey, los autores reportaron ganancia de 96 gramos por día cuando incluyeron 64 % (base seca) de bagazo de agave Tequilana en su alimentación.

Además, como puede observarse en la gráfica con el tratamiento del bagazo de agave con el álcali casi se duplico la digestibilidad aparente de la materia seca contenida en el alimento ofertado a los borregos. Los ovinos alimentados con el bagazo de agave mostraron un incremento en la digestibilidad de las paredes celulares de casi el doble comparado con el testigo, además de incrementarse ligeramente cuando este fue tratado con hidróxido de sodio al 4 % de la materia seca. De igual manera Ramírez Cortina *et al.* (2012) reportaron un aumento de la desaparición a nivel ruminal del residuo cuando fue tratado con hidróxido de calcio y con la aplicación de calor.



Conclusiones

- El bagazo de agave Tequilana es un residuo que puede ser considerado fuente de fibra en raciones para los rumiantes.

- La digestibilidad de este residuo es baja, pero puede mejorarse al tratarlo con NaOH al 4%.
- El empleo de bagazo de agave en el alimento del ovino no afecta la productividad pero mejora la utilización digestiva del alimento

Referencias

- Alonso Gutiérrez, M. 2005. Valorisation de la bagasse de l'agave Tequilana W. cv azul: caractérisation étude de la digestibilité et de la fermentation des sucres. Tesis doctoral. Université de France.
- Chandra, R.P., Bura R., Mabey W.E., Berlin A., Pan X., Saddler J.N. 2007. Substrate pretreatment: the key to effective enzymatic hydrolysis of lignocellulose? Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 108: 67-93.
- Harada, C., Saito Y., Nakamura Y. y H. Minato. 2001. The effect of sodium hydroxide treatment of rice straw on in situ disappearance of hemicellulose and lignin in its cell wall. Anim. Sci. J. 72:19-25.
- Harmen, P., Huijgen W., Bermudez L. y R. Bakker. 2010. Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass. Reporte. Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen, Netherland.
- Hendriks, A.T.W.M., y G. Zeeman. 2009. Pre-treatment to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource technology. 100:10-18.
- Iñiguez-Covarrubias, G., Lange S.E., y R.M. Rowell. 2001. Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. Bioresour. Technol. 77(1):25-32.
- Karp, S.G., Lorenci Woiciechowski A., Thomaz Soccol V. y C.R. Soccol. 2013. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. Brazilian Archives of Biology and Technology. 56:679-689.
- Kim, S. y M.T. Holtzaple. 2005. Lime pretreatment and enzymatic hydrolysis of corn stover. Biore-source Technology. 96:194-206.
- López-Nevarez, A.G., H.M. Poggi-Varaldo, E. Cristiani-Urbina, y M.T. Ponce-Noyola. 2012. Production of holocellulolytic enzymes using agro-industrial residues: selection of type of pretreatment and substrate. Environmental Engineering and Management Journal. 11 (Supplement): S94.
- Moore, K.J. y H.J.G. Jung. 2001. Lignin and fiber digestion. Journal of Range Management. 54: 420-430.
- Pinos-Rodríguez, J.M., J.R. Aguirre-Rivera, J.C. García-López, M.T. Rivera-Miranda, S. Gonzalez-Muñoz, S. López-Aguirre y D. Chávez-Villalobos. 2006. Use of maguey (*Agave salmiana* Otto ex. Salm-Dick) as forage for ewes. Journal of Applied Animal Research. 30:101-107.
- Ramírez-Cortina, C.R., Alonso Gutiérrez M.S. y L. Rigal. 2012a. Tratamiento alcalino de los residuos agroindustriales de la producción del tequila, para su uso como complemento de alimento de rumiantes. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 5(2):69-77.
- Ramírez-Cortina, C.R., Alonso-Gutiérrez M.S. y L. Rigal. 2012b. Valorización de residuos agroindustriales del tequila para alimentación de rumiantes. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 18:449-457.

- Salama, R.; Fatma M. Salman; M. A. Safwat; S. M. Soliman e Y. A. El-Nomeary. 2011. Chemical, biological and biochemical treatments to improve the nutritive values of sugarcane bagasse (SCB): 2- *In vivo* studies to evaluate the nutritive values of untreated and treated SCB. Life Science Journal. 8:327-337.
- SAS. 2008. User's guide; Statistics. Versión 9. SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA.
- Suksombat, W. 2004. Comparison of different alkali treatment of bagasse and rice straw. Asian-Australasian Journal of Animal Science. 17:1430-1433.

Respuesta del fémur *Coturnix coturnix japonica* en desarrollo a la adición de ácidos orgánicos

J. R. OROZCO-HERNÁNDEZ,¹ I. J. RUÍZ-GARCÍA,

R. C. GARCÍA DE LA PEÑA, D. ÁVILA FIGUEROA,²

E. ALVARADO-LOZA, F. LIZARRAGA-DÍAZ³

Y M. VALADEZ-GALVÁN⁴

Resumen

Incluir antibióticos como promotores del crecimiento es una práctica prohibida en varios países, incluyendo los de la Unión Europea, por lo que es de interés evaluar y utilizar aditivos que no tengan efecto residual y ayuden a la productividad animal. Dentro de los aditivos alternativos se encuentran los prebióticos, los probióticos y los acidificantes. Ciento ochenta codornices de tres días de edad se alojaron en jaulas (15 aves en cada unidad experimental) para evaluar 0, 3 o 6 kg de una mezcla de ácidos orgánicos (AO; Citrinal®; ácido láctico, málico, fumárico, cítrico, ortofosfórico y silícico) por tonelada. Al final de cada periodo, el 10 % de los animales de cada jaula fueron sacrificados para obtener el fémur izquierdo retirando manualmente el tejido adherido y se midieron. Los huesos fueron deshidratados individualmente a una temperatura de 70 °C durante 24 horas, posteriormente se incineraron en un horno mufla a 500 °C durante 4 horas. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza empleando el procedimiento GLM empleando el paquete estadístico SAS. El rendimiento en canal de las codornices empleadas en el presente estudio no se vio afectado ($P > 0.05$), pero se varió por la interacción de los ácidos orgánicos con la edad del animal. El peso del fémur fue similar entre los tratamientos ($P > 0.05$), pero cuando se expresó en función al peso corporal del animal se incrementó de manera significativa con la adición de 6 kg de la mezcla de ácidos orgánicos al alimento, en cambio el tamaño del hueso

-
- [1] Cuerpo Académico Sistemas Pecuarios, Departamento de Ciencias Biológicas, CUALTOS, Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: rorozco@cualtos.udg.mx.
 - [2] CUCBA, Universidad de Guadalajara.
 - [3] LGA Corporation, SA de CV.
 - [4] Estudiante de Medicina Veterinaria y Zootecnia, CUALTOS.

(cm) disminuyó con la adición de los acidificantes ($P < 0.05$). Por lo tanto, emplear una mezcla de AO no afecta el rendimiento de las codornices ni las características del fémur como depósito de minerales.

Introducción

Incluir antibióticos como promotores del crecimiento es una práctica prohibida en varios países, incluyendo los de la Unión Europea, por lo que es de interés evaluar y utilizar aditivos que no tengan efecto residual y ayuden a la productividad animal. Por otro lado, actualmente se busca contar con alimentos que han mostrado efectos deseados como es el caso de los prebióticos y probióticos que a través de la reducción del pH del contenido gastrointestinal ejercen su acción. Los anteriores optimizan las funciones metabólicas del individuo al modificar la composición y actividad de la microbiota intestinal reduciendo así la aparición de enfermedades (Che *et al.*, 2012: 4408-4413; Garcia Curbelo *et al.*, 2012: 231-236), además de estar asociada dicha alteración con el aprovechamiento de los minerales del alimento.

Marco teórico

El desarrollo del animal conlleva a la necesidad de proveer de nutrimentos indispensables, tal es el caso de los minerales destinados al esqueleto y funciones vitales, pero la eficiencia a la que son absorbidos es afectada por la ingesta tanto por interacciones como por cantidades del mismo (Gotlob *et al.*, 2006). Por ello se buscan mecanismos o aditivos que ayuden a mejorar la absorción y así garantizar la armonía en el desarrollo somático del animal tanto productivo como de compañía.

Manipular la microbiota a través de antimicrobianos ha sido un mecanismo confiable sin embargo su uso tiene controversia a nivel productivo debido a la posible resistencia causada en ciertas cepas microbianas, por lo que se buscan alternativas sustentables (Huyghebaert *et al.*, 2011: 182-190). Dentro de los aditivos alternativos se encuentran los prebióticos, los probióticos, así como combinación de estos (simbiosis), y los acidificantes a base de sales de ácidos orgánicos (Abas *et al.*, 2011: 337-344; Bahnas, 2009: 263-286; Coudray *et al.* 2003: 91-97; Denli *et al.*, 2003: 89-91; Ghosh *et al.*, 2007: 1-7).

Todos ellos además de participar en el control de la población microbiana dañina, su efecto sobre la capacidad amortiguadora de la barrera gastrointestinal afectan la absorción de ciertos minerales en especies confinadas. Lo anterior en

relación con la síntesis de metabolitos microbianos como vitaminas requeridas en el mecanismo de absorción de minerales y su subsecuente efecto en la formación de la matriz ósea y crecimiento del hueso u otros tejidos que requiera de calcio (Lavanda *et al.*, 2011: 333-344; Lückstädt y Mellor, 2011: 123-130).

Lo anterior tiende a garantizar que el animal no sufra descompensación en la disponibilidad de nutrimentos y con ello sus consecuencias posteriores se ven reducidas, sobre todo en aquellos minerales que son importantes para el mantenimiento del esqueleto como son el calcio, fósforo y magnesio (Angel *et al.*, 2006: 1200-1211; Boling *et al.*, 2001: 783-788; Garrido *et al.*, 2004: 5208-5213; Scholz-Ahrens *et al.*, 2007: 838S-846S; Świątkiewicz *et al.*, 2010a: 185-193).

Las empresas sobre todo las proveedoras de ingredientes para monogástricos, mejoran día con día la combinación de estos minerales para proveer al animal de una protección sin considerar el impacto de estos en el equilibrio mineral, el cual pudiera verse beneficiado en la disponibilidad biológica con la ayuda de un agente acidificante (Lawlor *et al.*, 2006: 61-71; Lückstädt y Mellor, 2011: 123-130; Mroz, 2005: 169-182; Sheikh Adil *et al.*, 2010). Por otro lado, el uso de ácidos orgánicos (AO) y sus sales al inhibir el desarrollo microbiano modifican el pH del intestino y con ello su capacidad de absorción de diferentes nutrimentos esenciales.

Varios autores (Isabel y Santos, 2009: 472-476; Suryanarayana *et al.*, 2012; Weber *et al.*, 2012: 2820-2828) reportan que existe un uso frecuente de la combinación de AO con otros productos como aceites esenciales por su posible sinergismo en el combate de bacterias patógenas que habitan en el tracto gastrointestinal, además de estimular algunos de ellos el desarrollo de la mucosa y vellosidades, así como el aporte de precursores para el metabolismo.

En porcinos jóvenes en la etapa posterior al destete investigaciones (Che *et al.*, 2012: 4408-4413; Gottlob *et al.*, 2006; Lawlor *et al.*, 2006: 61-71) en experimentos con el empleo de ácido fumárico y calcio en el alimento concluyeron que el acidificante aun cuando reducía la capacidad de absorción de ácidos del alimento, no mejoraba la productividad. En cambio Suryanarayana *et al.* (2012: 523-533) mejoraron la producción y la digestibilidad de los nutrimentos del alimento en los lechones a los que se les suministro ácidos orgánicos.

En el estudio (Sheik Adil *et al.*, 2010; Soltan, 2008: 613-621; Rahman *et al.*, 2008: 74-81) se encontró que ácidos como el fumárico, propiónico y el butírico o sus respectivas sales estables tienen un efecto variable en aves y la calidad de sus

productos. Mostrando una mejora en la calidad del cascarón por efecto interactivo del aditivo así como en la cantidad de calcio en circulación. Bonos *et al.* (2010) empleado propionato de calcio como fuente del mineral y del AO en codornices encontraron que se mejoraba la calidad de la producción y peso en canal de los animales.

Material y métodos

El presente estudio se realizó en las instalaciones pecuarias del Departamento de Ciencias Biológicas del Centro Universitario de Los Altos, Universidad de Guadalajara, el cual está ubicado en el kilómetro 7.5 de la carretera que conduce de Tepatitlán a Yahualica. Se contó durante el desarrollo del estudio con la constante supervisión de un Médico Veterinario y Zootecnista con lo que se cumplió con los lineamientos de protección animal (NOM-062-ZOO-1999).

Ciento ochenta codornices de tres días de edad se alojaron en jaulas comerciales (15 aves en cada unidad experimental) para poder evaluar la adición de 0, 3 o 6 kg de una mezcla de ácidos orgánicos (AO; Citrinal®; ácido láctico, málico, fumárico, cítrico, ortofosfórico y silícico) por tonelada de alimento. Al final de cada periodo de 21 días, el 10 % de los animales de cada jaula fueron sacrificados para obtener el fémur izquierdo retirando manualmente el tejido adherido y se midieron. Los huesos fueron deshidratados individualmente a una temperatura de 70 °C durante 24 horas en una estufa con aire forzado, posteriormente se incineraron en un horno mufla a 500 °C durante 4 horas. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza empleando el procedimiento GLM empleando el paquete estadístico SAS (2008).

Resultados y discusión

El rendimiento en canal de las codornices empleadas en el presente estudio no fue afectado directamente con el uso de los ácidos orgánicos en el alimento ($P > 0.05$), pero su afectó fue notorio cuando existió la interacción de estos con la edad del animal. Esto concuerda con los hallazgos de otros investigadores (Çakir *et al.*, 2008: 565-569; Sacakli *et al.*, 2006: 198-202) quienes no encontraron efecto significativo de la adición de AO al alimento de las aves sobre los parámetros productivos, en cambio Ghosh *et al.* (2007: 1-7) y Ocak *et al.* (2009: 25-29) observaron un aumento significativo de la misma variable.

El peso del fémur fue similar entre los tratamientos ($P > 0.05$), pero cuando se expresó en función al peso corporal del animal se incrementó de manera significativa con la adición de 6 kg de la mezcla de ácidos empleados, en cambio el tamaño del hueso (cm) disminuyó con la adición de los acidificantes ($P < 0.05$), por lo tanto la cantidad de minerales y su posible resistencia se vean mejorados en el caso de un ave de crecimiento rápido como es la codorniz en desarrollo, lo cual está relacionado con la edad del animal. Sin afectar estadísticamente el contenido de minerales totales en el hueso del ave ($P > 0.05$).

Similares resultados han sido reportados por varios autores con el empleo de acidificantes, principalmente ácidos orgánicos en el alimento del ave. Sacakli *et al.*, (2006: 198-202) empleando una mezcla de AO y la enzima fitasa no encontraron efecto significativo, individual o por interacción, de los tratamientos en la cantidad de cenizas en la tibia de codornices como indicadores de la absorción de minerales alimentarios. Similares resultados pero en pollos de engorda fueron reportados por Liem *et al.* (2008: 689-693). De igual manera los autores Świątkiewicz *et al.* (2010b: 185-193) empleando gallinas de postura no encontraron efecto significativo del empleo de los AO en el alimento sobre las cenizas de tibia. Lo anterior ratifica la aseveración de Janssens y van Loo (2006: 14-20) quienes en su revisión encontraron poco efecto de los probióticos acidificantes en la mineralización de las aves.

Conclusiones

- Emplear una mezcla de AO no afecta los parámetros productivos de las codornices
- La adición de una combinación de ácidos orgánicos al alimento no altera las características del fémur como respuesta a la deposición de minerales como medida de disponibilidad.

Referencias

- Abaş İ., Bilal T., y H. Eseceli. 2011. The effect of organic acid, zeolite, or their combination on performance, some serum indices, and ileum pH values in broilers fed with different phosphorus levels. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*. 35:337-344.
- Angel, R., Saylor W.W., Mitchell A.D., Powers W., y T.J. Applegate. 2006. Effect of Dietary Phosphorus, Phytase, and 25-Hydroxycholecalciferol on broiler chicken bone mineralization, litter phosphorus, and processing yields. *Poultry Science*. 85:1200-1211.

- Bahnas, M.S. 2009. Effect of using malic acid on performance of japanese quail fed optimal and sub-optimal energy and protein levels. Egypt. Poultry Science. 29:263-286.
- Boling, S.D., Snow J.L., Parsons C.M. y D.H. Baker. 2001. The effect of citric acid on calcium and phosphorus requirements of chicks fed corn soybean meal diets. Poultry Science. 80:783-788.
- Çakir, S., Midilli M., Erol H., Şimsek N., Çınar M., Altintas A., Alp H., Altintas L., Cengiz Ö. y A. Antalyali. 2008. Use of combined probiotic-prebiotic, organic acid and avilamycin in diets of Japanese quails. Revue Médecine Vétérinaire. 159: 565-569.
- Che, T.M., Adeola O., Azain M.J., Carter S.D. Cromwell G.L., Hill G.M., Mahan D.C. Miller P.S., y J.E. Pettigrew. 2012. Effect of dietary acids on growth performance of nursery pigs: A cooperative study. Journal of Animal Science. 90: 4408-4413.
- Coudray, C., Tressol J., Gueux E. e Y. Rayssiguier. 2003. Effects of inulin-type fructans of different chain length and type of branching on intestinal absorption and balance of calcium and magnesium in rats. European Journal of Nutrition. 42:91-97.
- Denli, M., Okan F. y K. Celik. 2003. Effect of dietary probiotic, organic acid and antibiotic supplementation to diets on broiler performance and carcass yield. Pakistan Journal of Nutrition. 2: 89-91.
- García Curbelo, Y., López M.G., Bocourt R., Rodríguez Z. y L. Savón. 2012. Los prebióticos en la alimentación de animales monogástricos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46: 231-236.
- Garrido, M.N., Skjervheim M., Oppegaard H., y H. Sorum. 2004. Acidified litter benefits the intestinal flora balance of broiler chickens. Applied Environmental Microbiology. 70: 5208-5213.
- Ghosh, H.K., Halder G., Samanta G., Paul S.K. y S.K. Pyne. 2007. Effect of dietary supplementation of organic acid and mannan oligosaccharide on the performance and gut health of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). Asian Journal of Poultry Science. 1:1-7.
- Gottlob, R.O., Benz J.M., Groesbeck C.N., Sulabo R.C., Tokach M.D., Nelsens J.L., Goodband R.D., DeRouchey J.M., y S.S. Dritz. 2006. Effects of dietary calcium formate and malic acid on nursery pig growth performance. Swine Day. Kansas State University. Pp. 67-71.
- Ghosh, H.K., Halder G., Samanta G., Paul S.K., y S.K. Pyne. 2007. Effect of dietary supplementation of organic acids and mananoligosaccharide (MOS) on the performance and gut health of japanese quail (*Coturnix coturnix*). Asian Journal of Poultry Science. 1:1-7.
- Huyghebaert, G., Ducatelle R., y F. van Immerseel. 2011. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. The Veterinary Journal. 187:182-190.
- Isabel, B., e Y. Santos. 2009. Effects of dietary organic acids and essential oils on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. Journal of Applied Poultry Research. 18: 472-476.
- Janssens, G. y J. Van Loo. 2006. Prebiotics improve mineral metabolism. World Poultry. 22:14-20.
- Lavanda, I., Isay S.M., Rodrigues A. y A. Colli. 2011. Prebióticos y su efecto en la biodisponibilidad del calcio. Revista de Nutrição, Campinas. 24:333-344.
- Lawlor, P.G., Lynch P.B. y P.J. Caffrey. 2006. Effect of fumaric acid, calcium formate and mineral levels in diets on the intake and growth performance of newly weaned pigs. Irish Journal of Agricultural and Food Research. 45:61-71.
- Liem, A., Pesti G.M. y H.M. Edwards Jr. 2008. The effect of several organic acids on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chicks. Poultry Science. 87: 689-693.
- Lückstädt C. y S. Mellor. 2011. The use of organic acids in animal nutrition, with special focus on dietary potassium diformate under European and Austral-Asian conditions. Recent Advances in Animal Nutrition – Australia. 18:123-130.
- Mroz, Z. 2005. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs. Advances in Pork Production. 16-169-182.

- Sacakli, P., Sehu A., Ergun A., Genc B. y Z. Selcuk. 2006. The effect of phytase and organic acid on growth performance, carcass yield and tibia ash in quails fed diets with low levels of non-phytate phosphorus. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 19:198-202.
- SAS, 2008. User's Guide: Statistics. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, EUA.
- Scholz-Ahrens, K.E., Ade P., Marten B., Weber P., Timm W., Asil Y., Gluer C.C., y J. Schrezenmeir. 2007. Prebiotics, probiotics, and synbiotics affect mineral absorption, bone mineral content, and bone structure. *Journal of Nutrition*. 137:838S-846S.
- Sheikh Adil, Tufail Banday, Gulam Ahmad Bhat, Masood Saleem Mir y Manzoor Rehman. 2010. Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, intestinal histomorphology, and serum biochemistry of broiler chicken. *Veterinary Medicine International*. Article ID 479485.
- Soltan, M.A. 2008. Effect of organic acid supplementation on egg production, egg quality, and some blood serum parameters in laying hens. *International Journal of Poultry Science*. 7:613-621.
- Ocak, N., Erener G., Altop A. y C. Kop. 2009. Effect of malic acid on performance and some digestive tract traits of Japanese quails. *Journal of Poultry Science*. 46:25-29.
- Rahman, M.S., Howlider M.A.R., Mahiuddin M. y M.M. Rahman. 2008. Effect of supplementation of organic acids on laying performance, body fatness and egg quality of hens. *Bangkok Journal of Animal Science*. 37:74-81.
- Suryanarayana, M.V.A.N., Suresh J. y M.V. Rajasekhar. 2012. Organic acids in swine feeding - A Review. *Agricultural Science Research Journal*. 2:523-533.
- Swiatkiewicz, S., Koreleski J., y A. Arczewska. 2010a. Laying performance and eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with prebiotics and organic acids. *Czech Journal of Animal Science*. 55:294-306.
- Świątkiewicz, S., Koreleski J. y A. Arczewska. 2010b. Effect of organic acids and prebiotics on bone quality in laying hens fed diets with two levels of calcium and phosphorus. *Acta Veterinaria. BRNO*. 79:185-193.
- Weber G.M., Michalczuk M., Huyghebaert G., Juin H., Kwakernaak C. y M.I. Gracia. 2012. Effects of a blend of essential oil compounds and benzoic acid on performance of broiler chickens as revealed by a meta-analysis of 4 growth trials in various locations *Poultry Science*. 91: 2820-2828.

Cantidad de bacterias coliformes fecales como respuesta a la inulina de agave Tequilana en el alimento del conejo

E. ALVARADO LOZA,¹ J. R. OROZCO HERNÁNDEZ,²

I. J. RUÍZ GARCÍA, V. O. FUENTES HERNÁNDEZ

Y F. J. PAREDES IBARRA³

Resumen

Los fructooligosacáridos presentes en los ingredientes que conforman el alimento generalmente sirven de moduladores de crecimiento de la flora presente en el intestino, además la son fuente de fibra alimentaria. La industria transformadora del agave azul Tequilana Weber emplea la piña de la planta principalmente para la obtención del alcohol del tequila, pero también es actualmente empleada para obtener el fructooligosacárido inulina, el cual se emplea como sustituto de la sacarosa en algunas bebidas y platillos. Dieciocho conejos machos de la raza Nueva Zelanda fueron alojados individualmente y se alimentados con un alimento comercial. Al anterior se le adicionó la inulina en tres niveles (0, 1, o 2 % Base seca) y además de la productividad se evaluó el conteo de bacterias coliformes presentes en heces fecales. La adición de inulina al alimento provocó una reducción en el consumo de alimento ($P < 0.05$), así como descenso en el consumo de agua ($P < 0.05$) y el número de bacterias coliformes ($P < 0.05$). Pero la ganancia de peso no fue afectada ($P > 0.05$). Por tanto emplear el 2 % de inulina de agave afecta positivamente la salud intestinal del animal y el aprovechamiento del alimento.

Palabras clave: inulina de agave tequilana, conejo, coliformes

[1] Estudiante de Maestría en Ciencias en Nutrición Animal.

[2] Cuerpo académico Sistemas Pecuarios, Departamento de Ciencias Biológicas, CUALTOS, Universidad de Guadalajara. Email: rorozco@cualtos.udg.mx.

[3] Estudiante de Maestría en Ciencias en Nutrición Animal.

Introducción

La microbiota del tracto gastrointestinal participa en la protección del individuo al colaborar con el mantenimiento e integridad de la barrera (Bovera *et al.*, 2012: 130-136; Lambert, 2009: E101-108). Por lo tanto, al alterar esta población se reflejara en la integridad de esta estructura protectora y por ende en la presencia de afecciones, aseveración que tiende a variar con la especie animal de la que se esté tratando (Falcao-e-Cunha *et al.*, 2007: 127-140; Flickinger y Fahey Jr., 2002: S297-300; Gaggia *et al.*, 2010: 15-28). Además, a medida que el individuo envejece la capacidad protectora de la barrera se altera e incluso llega a perder su integridad, por lo que es necesario proveer de sustratos que apoyen el desarrollo de la población microbiana simbiótica.

Marco teórico

La mucosa del intestino y en lo general del tracto gastrointestinal tiene como función principal, conjuntamente con las células especializadas, el aprovechamiento de los nutrimentos alimentarios consumidos así como proteger de posibles intrusiones gérmenes patógenos y su subsecuente impacto en el organismo (Abdelqader *et al.*, 2013: 103-111; Lambert, 2009: E101-108; Van Loo, 2007: 2594-2597). Por ello los antibióticos se han utilizado tradicionalmente en la alimentación de animales monogástricos como aditivos promotores del crecimiento los que al prevenir enfermedades mejoran de esta manera la producción.

Sin embargo, a pesar de lo anterior el continuo uso de antimicrobianos a nivel subterapéutico aumenta la posibilidad de encontrar residuos de antibióticos en los productos que genera el animal y que serán destinados como alimento para el humano (Bónai *et al.*, 2010: 121-129; Falcao-e-Cunha *et al.*, 2007: 127-140). Además su uso puede permitir el desarrollo de cepas bacterianas que sean resistentes a su efecto, por lo tanto es necesario buscar alternativas a su empleo.

Se ha investigado el efecto de algunas cepas bacterianas (probióticos) las que al ser administradas vía el alimento limitar a través de su metabolismo el desarrollo de bacterias no deseadas (Gaggia *et al.*, 2010: 15-28; Nyman, 2002: 162-168). También se utilizan sustratos alimenticios que estimulan el desarrollo de bacterias deseables para el ecosistema intestinal (prebióticos) los que a su vez disminuyen la población de microorganismos potencialmente patógenos (Bovera *et al.*, 2012: 130-136; Flickinger y Fahey Jr., 2002: 297-300). Hay que recordar que la interac-

ción normal entre las bacterias intestinales y su huésped es una relación simbiótica (Abdelqader *et al.*, 2013: 103-111; de Vrese y Schrezenmeir, 2008:1-66; Lenoir-Wijnkoop *et al.*, 2007: 469-489).

Por otro lado, existen algunos glúcidos, como son los oligosacáridos, los cuales consisten en cadenas medianas a cortas de monosacáridos específicos, que están presentes en ciertos vegetales de uso cotidiano y a través de su acción colaboran a mantener la estructura inmunológica celular permitiendo su función adecuada (Gaggia *et al.*, 2010:s15-28; Garcia Curbelo *et al.*, 2012: 231-236; Falcao-e-Cunha *et al.*, 2007: 127-140; Stewart *et al.*, 2008: 329-334; Volek *et al.*, 2007: 523-530).

Dentro de los oligosacáridos conocidos en el mercado de aditivos para uso pecuario se encuentran los formados por los monosacáridos; fructosa (o fructanos), manosa (o mananos), xilosa (xilanos), etcétera los cuales son empleados como sustratos prebióticos en la alimentación de varias especies de animales (Bovera *et al.*, 2012: 130-136).

Los múltiples trabajos con su empleo han concluido que mediante su inclusión en el alimento se afecta positivamente la flora bacteriana presente en el tracto posterior en especies productivas de explotación intensiva (Abdelqader *et al.*, 2013: 103-111; Bónai *et al.*, 2008: 555-560; Bónai *et al.*, 2010: 121-129; Garcia Curbelo *et al.*, 2012: 231-236; Tovar-Robles *et al.*, 2011; Van Loo, 2007: 2594-2597; Volek *et al.*, 2007: 523-530) e incluso en mascotas (Flickinger y Fahey Jr., 2002: S297-300), mejorando así la barrera protectora a nivel del tracto gastrointestinal.

En el mercado se puede encontrar a los fructo-oligómeros que comercialmente recibe el nombre de inulina, la que tiene reconocida función como componente estructural (fibra cruda) del alimento (Lenoir-Wijnkoop *et al.*, 2007: 469-489; Nyman, 2002). La inulina que puede ser encontrada proveniente del extracto de algunas plantas como la achicoria (*Cichorium intybus*) e incluso en la alcachofa (Chacon-Villalobos, 2006:265-286; Maertens *et al.*, 2004: 235-246; van Loo, 2007: 2594-2597). En México el agave de la familia tequilana Weber contiene de 3-10 % fructo-oligómeros, tanto en la piña como en las hojas (Praznik *et al.*, 2002). Sin embargo, el impacto de su adición al alimento de conejos, en la productividad y en la cantidad de coliformes intestinal es desconocido.

Material y métodos

El presente estudio se realizó en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Sustentables, el cual está ubicado en el kilómetro 4 de la carretera que conduce de

Tepatitlán a San José de Gracia, en las coordenadas 20° 54' 50» y los 21° 01' 30» de latitud norte y los 102° 33' 10» a los 102° 56' 15» de longitud oeste, con una altitud de 1 800 msnm. Se contó además con la constante supervisión de un Médico Veterinario y Zootecnista con lo que se cumplió con los lineamientos estatales de protección animal (NOM-062-ZOO-1999).

Dieciocho conejos de la crucea New Zealand x California x Rex, con un peso inicial de 350 gramos se emplearon en el presente estudio, los animales fueron alojados individualmente en jaulas metálicas (40 x 40 cm) las que contaban con piso plástico, así como comedero y bebedero en cada nicho. La temperatura medio ambiental en la instalación donde se colocaron las jaulas fue de 16 - 18°C, y la humedad relativa de 60-65 %. Los animales experimentales tuvieron durante todo el estudio (duración 65 días) libre acceso al alimento y agua, los cuales fueron medidos diariamente empleando báscula electrónica para ello.

La inulina de agave fue proporcionada por la empresa Inulina y Miel de Agave S.A. de C.V. (carretera Tepatitlán-Arandas, kilómetro 4.5, Capilla de Guadalupe, Tepatitlán de Morelos, Jalisco) y fue adicionada al alimento balanceado (NRC, 1977) a niveles de; 0 (testigo), 1 y 2 %. Durante los últimos 6 días se evaluó el consumo y a la vez sirvieron para tomar muestras de alimento y heces fecales para conteo de coliformes en laboratorio. Los pesos iniciales y finales se midieron con una báscula electrónica portátil.

Los datos fueron analizados como un experimento completamente aleatorizado en la asignación de los tratamientos, estableciendo un alfa de 0.05 para poder declarar diferencias entre los niveles de adición de la inulina, y se empleó el paquete estadístico SAS.

Resultados y discusión

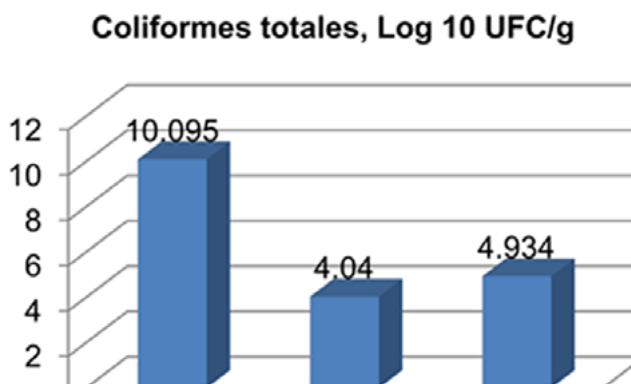
El consumo de materia seca del alimento fue en promedio de 95.83 gramos por animal por día y este se redujo ($P < 0.05$) cuando se adicionó la inulina de agave. Pero, los autores Abdelqader *et al.* (2013) y Salas-Montiel *et al.* (2013: 42:885-891) empleando la inulina de achicoria en el alimento no observaron diferencias en el consumo con respecto al tratamiento testigo.

Por otro lado, la ingesta de agua de bebida se redujo en 24.75 y 13.65 % cuando se empleó 1 y 2 % del fructano de agave ($P < 0.05$). La ganancia diaria de peso fue en promedio de 28.02 gramos y se incrementó al adicionar el 2 % del fructano

(25.73, 24.67 y 30.53 gramos por día, en el testigo, 1 y 2% de inulina respectivamente; $P < 0.05$). Empleando 4% de inulina de achicoria en el alimento Volek *et al.* (2007: 523-530) y Bonai *et al.* (2008: 555-560) reportaron en promedio una ganancia de peso de 35 gramos en sus conejos experimentales.

En cambio, los investigadores Salas-Montiel *et al.* (2013: 42:885-891) con conejos similares a los del presente estudio, pero adicionando 2.5 g de inulina /kg de alimento, observaron una reducción en la ganancia de peso corporal en los animales, aunque aumentaron la capa mucosa protectora del intestino.

Por otro lado, como puede observarse en la gráfica, la cantidad de coliformes totales (\log^{10} Unidades Formadoras de Colonia; UFC) se redujo considerablemente con la adición de la inulina de agave respecto del tratamiento establecido como testigo. Los autores Bónai *et al.* (2010) al emplear la inulina proveniente de achicoria en conejos de la raza Pannon White disminuyeron el consumo de alimento y ganancia de peso respecto al tratamiento empleado como testigo, pero no hicieron variar el pH de las heces fecales, y observaron un ligero descenso en la cantidad de *E. Coli* presente al adicionar el oligosacárido.



Por otro lado, Abdelqader *et al.* (2013) redujeron en 5% la población de coliformes e incrementaron la presencia de lactobacilos en el tracto gastrointestinal de las aves al adicionar la inulina de achicoria al alimento ofrecido. Con los anteriores hallazgos se puede inferir que la inulina de agave estimula la colonización del intestino con microflora benéfica y reflejándose la mejora en el peso del conejo.

Conclusiones

- La adición de inulina de agave en el alimento del conejo tiene fuerte impacto en la salud intestinal al incrementar a las poblaciones bacterianas benéficas.
- El empleo de la inulina de agave en el alimento mejora los parámetros productivos del conejo

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Inulina y Miel de Agave S.A. de C.V. por la donación de la inulina necesaria para el desarrollo del proyecto.

Referencias

- Abdelqader A., Al-Fataftah A.R., y G. Das. 2013. Effects of dietary *Bacillus subtilis* and inulin supplementation on performance, eggshell quality, intestinal morphology and microflora composition of laying hens in the late phase of production. *Animal Feed Science and Technology*. 179:103-111.
- Bovera, F., Lestingi A., Marono S., Iannaccone F., Nizza S., Mallardo K., de Martino L., y A. Tateo. 2012. Effect of dietary mannanoligosaccharides on *in vivo* performance, nutrient digestibility, and caecal content characteristics of growing rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 96:130-136.
- Bónai, A., Szendrő Z., Maertens L., Matics Z., Fébel H., Kametler L., Tornyos G., Horn P., Kovács F., y M. Kovács. 2008. Effect of inulin supplementation on caecal microflora and fermentation in rabbits. 9th. World Rabbit Congress. June 10-13. Verona – Italy. Pp. 555-560.
- Bónai, A., Szendrő Z., Matics Z., Fébel H., Kametler L., Tornyos G., Horn P., Kovács F. y M. Kovács. 2010. Effect of inulin supplementation and age on growth performance and digestive physiological parameters in weaned rabbits. *World Rabbit Science*. 18:121-129.
- Chacón-Villalobos, A. 2006. Perspectivas agroindustriales actuales de los oligofructosacáridos (FOS). *Agronomía Mesoamericana*. 17: 265-286.
- De Vrese, M. y J. Schrezenmeir. 2008. Probiotics, prebiotics, and synbiotics. *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology*. 111:1-66.
- Falcão-e-Cunha, L., Castro-Solla L., Maertens L., Marounek M., Pinheiro V., Freire J., y J.L. Mourao. 2007. Alternatives to antibiotics growth promoters in rabbit feeding: a review. *World Rabbit Science* 15:127-140.
- Flickinger, E.A., y G.C. Fahey Jr. 2002. Pet food and feed applications of inulin, oligofructose and other oligosaccharides. *British Journal of Nutrition*. 87 (Suppl. 2): S297-300.
- Gaggia, F., Mattarelli P., y B. Biavati. 2010. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*. 141: 15-28.
- García Curbelo, Y., López Mercedes G., Bocourt R., Rodríguez Z., y L. Savón. 2012. Los prebióticos en la alimentación de animales monogástricos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46:231-236.
- Lambert, G.P. 2009. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *Journal of Animal Science*. 87:E101-108.

- Lenoir-Wijnkoop, I., Sanders M.E., Cabana M.D., Caglar E., Corthier G., Rayes N., Sherman P.M., Timmerman H.M., Vanechoutte M., Van Loo J., y D.A. Wolvers. 2007. Probiotic and prebiotic influence beyond the intestinal tract. *Nutrition Reviews*. 65:469-489.
- Maertens, L., Aerts J.M. y J. de Boever. 2004. Degradation of dietary oligofructose and inulin in the gastro-intestinal tract of the rabbit and the effects on caecal pH and volatile fatty acids. *World Rabbit Science*. 12:235-246.
- Salas-Montiel, R., Torres Acosta I., Villarreal Delgado E., Juárez-Silva M.E., Azaola A., y F. Pérez-Gil Romo. 2013. Inulin as a growth promoter in diets for rabbits. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 42:885-891
- Nyman, M. 2002. Fermentation and bulking capacity of indigestible carbohydrates: the case of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 87(Suppl. 2): 163-168.
- National Research Council (NRC). 1977. Nutrient requirements of rabbits. Second revised edition. National Academy of Science. Washington, D.C. EUA.
- NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación. 6 de diciembre 1999.
- Tovar-Robles, C.L., Perales-Segovia C., Nava Cedillo A., Valera-Montero L.L., Gómez-Leyva J.F., Guevara-Lara F., Hernández-Duque J.L.M., y H. Silos-Espino. 2011. Effect of aguamiel (*Agave* sap) on hematic biometry in rabbits and its antioxidant activity determination. *Italian Journal of Animal Science*. 10:e21.
- Praznik, W., Cieslik E., y M.G. Lopez. 2002. Composition of nutritional components in *Agave tequilana* Weber var. Azul. 9th. Seminar on inulin. Budapest, Hungary. April 18-19.
- Stewart, M.L., Timm D.A., y L. Joanne. 2008. Fructooligosaccharides exhibit more rapid fermentation than long-chain inulin in an *in vitro* fermentation system. *Nutrition Research*. 28: 329-334.
- Van Loo, J. 2007. How chicory fructans contribute to zootechnical performance and well-being in livestock and companion animals. *J. Nutr*. 137:2594S-2597S.
- Volek, Z., Marounek M., y V. Skrivanová. 2007. Effect of a starter diet supplementation with mannanoligosaccharide (MOS) or inulin on health status, caecal metabolism, digestibility of nutrients and growth of early weaned rabbits. *Animal*. 1:523-530.

Disminución de la resistencia al cisplatino por pentoxifilina en células de cáncer de cérvix

LILIANA DEL ROCÍO MARTÍNEZ VÁZQUEZ¹

Resumen

Introducción. El cáncer cérvico-uterino (CaCu) se considera a nivel mundial, como la segunda neoplasia maligna en la mujer. El CaCu como cualquier otro tipo de cáncer tiende a desarrollar resistencia a la quimioterapia basada en cisplatino (CIS) lo que promueve la proliferación de las células malignas resistentes y evaden la muerte celular por apoptosis. *Objetivo.* Generar una línea celular de CaCu^{VPH16+} resistente a CIS (SiHaRC), analizar el contenido de las proteínas antiapoptóticas BCL-2 y BCL-XL para corroborar la resistencia y estudiar si el pretratamiento con pentoxifilina (PTX) modifica el contenido de estas y aumenta la apoptosis. *Material y Métodos:* Se generó una línea celular resistente a CIS mediante la exposición gradual y continua a CIS durante 8 meses. Para corroborar la resistencia de nuestra línea celular, 50×10^5 /ml de células SiHaP y SiHaRC y fueron expuestas a dosis crecientes de CIS y se valoró la concentración inhibitoria 50 de crecimiento (CI_{50}), mediante el análisis de impedancia celular (xCELLigence Roche). Para confirmar la resistencia adquirida por las células se valoró por citometría de flujo, el contenido de las proteínas antiapoptóticas BCL-2 y BCL-XL en ambas líneas celulares. Una vez obtenido el CI_{50} de ambas líneas celulares, se valoró el efecto de la PTX (8mM) 24 horas postratamiento sobre el contenido de BCL-2 y BCL-XL, así como el porcentaje de anexina V. *Resultados:* Se logró generar una línea de CaCu SiHa^{VPH16+} resistente a CIS, siendo la resistencia 3 veces más comparada con la línea SiHaP (CI_{50} 60 μ M y 30 μ M respectivamente). Se encontró aumentado el

[1] CIBO, Centro de Investigación Biomédica de Occidente. División de Inmunología. Sierra Mojada #800, Independencia, C.P 44340, Guadalajara, Jalisco, México. Correo electrónico: dralilita@live.com.mx / dralilita@gmail.com.

contenido de las proteínas antiapoptóticas BCL-2 y BCL-XL en la línea SiHaRC (39.1 % y 62.2 % respectivamente) comparada con la concentración de estas en SiHaP (27.6 % y 47.8 %) lo que corrobora la resistencia. El tratamiento con PTX disminuyó el contenido total de BCL-2 y BCL-XL en ambas líneas celulares (SiHaRC 4.0 % y 10.7 % respectivamente, mientras que en SiHaP fue del 4.3 % y 11.3 %). La PTX induce apoptosis en ambas líneas celulares y se correlaciona con la disminución de las proteínas antiapoptóticas. *Conclusiones:* La resistencia a CIS parece estar relacionada con proteínas antiapoptóticas BCL-2 y BCL-XL, la PTX reduce significativamente el contenido de estas y correlaciona con el índice de apoptosis. La PTX revierte la resistencia adquirida a cisplatino.

Palabras Clave: Cáncer cérvico-uterino, pentoxifilina, cisplatino, apoptosis, senescencia celular.

Antecedentes

El cáncer cérvico-uterino (CaCu), es una enfermedad en la cual se encuentran células cancerosas (malignas) en el epitelio del cérvix o cuello uterino, que es la parte inferior y estrecha del útero. Se conocen dos tipos histológicos de CaCu de mayor importancia que son: los carcinomas de células escamosas (células delgadas, llanas que forman la superficie del cérvix) y los adenocarcinomas (células de la glándula productora de moco). Los primeros comprenden aproximadamente del 85 - 90 % de los tumores en el cérvix, y los segundos el 10 %, y un porcentaje mínimo corresponde a formas raras como carcinoma de células pequeñas (1).

Se considera al CaCu a nivel mundial, como la segunda o incluso la primera neoplasia maligna en la mujer (dependiendo de la región); esto ocurre de manera especial en países en vías de desarrollo. Según los datos epidemiológicos más recientes emitidos por la Secretaría de Salud en México, en el año 2005 se presentaron 4270 defunciones debidas a CaCu, con una tasa de 8.0 por cada 100, 000 mujeres. Sin embargo, la tasa cambia conforme avanza la edad y aumenta hasta 28.9 por cada 100 000 en el grupo de mujeres arriba de 65 años. Lo anterior ubica a este tumor, como la causa número uno de muertes por cáncer en la mujer a nivel nacional, y en quinto lugar en población general (2-3).

Existen diferentes factores de riesgo relacionados al CaCu, la infección con tipos oncogénicos de virus del papiloma humano (VPH) se considera el factor etiológico primario en el desarrollo de este tumor (4). Otros factores son la edad de

inicio de la actividad sexual, tabaquismo, deficiencias en algunos componentes de la dieta como ácido fólico, y ciertos estados de inmunosupresión.

Virus del Papiloma Humano (VPH)

El VPH pertenece a un grupo de virus que abarca más de cien tipos diferentes pertenecientes a la familia *Papillomaviridae*, la cual se caracteriza por su variedad y tropismo a células epiteliales de piel y mucosas. El genoma del VPH consiste de un DNA circular de doble cadena, de aproximadamente 8000 pares de bases. Se pueden distinguir tres regiones principales: región temprana (región *E* por su sigla en inglés *early*), región tardía (región *L* por su sigla en inglés «*late*») y la región de control larga (región *LCR* por sus siglas en inglés *long control region*). Algunos de los genes de cada región y sólo algunas de las proteínas que éstos codifican, confieren el potencial oncogénico que presentan ciertos tipos de VPH.

A la fecha se conocen más de 100 tipos de VPH, de los cuales alrededor de 30 infectan el tracto ano-genital. Estudios epidemiológicos a nivel molecular han subdividido al VPH en dos grupos, según su capacidad de desarrollar cáncer cérvico-uterino: de alto y bajo riesgo (*Cuadro I*) (4-6).

Cuadro I. Tipos de VPH

<i>Riesgo</i>	<i>Asociación</i>	<i>Tipo</i>
Bajo riesgo	Asociados a verrugas genitales	2, 6, 11, 40, 42, 43, 44, 54, 61, 70, 72 y 81
Alto riesgo	Asociados a cáncer cérvico -uterino	16, 18, 31, 33, 35, 39, 45, 51, 52, 56, 58, 59, 68, 73 y 82

El VPH 16 es el tipo más frecuente, ya que se encuentra en aproximadamente 50 % de todos los carcinomas cervicales. El tipo 18 contribuye con un 20 % adicional. Los VPH de bajo riesgo están más asociados con las lesiones de menor grado. Las lesiones debidas a la infección con algún tipo oncogénico de VPH, pueden ser premalignas y progresar a cáncer (7). Otro punto importante es que los VPH también se han relacionado a la quimiorresistencia.

Clasificación de las lesiones del cérvix uterino

A través del tiempo se ha utilizado una gran variedad de términos, que dan nombres diferentes a una misma lesión. La primera nomenclatura descrita para las lesiones premalignas fue propuesta por Papanicolaou (1928), y se basa en exámenes citológicos. Posteriormente surgieron las nomenclaturas por, Reagan (1961), Richard (1967) y más adelante la clasificación Bethesda (1988), todas éstas basadas en exámenes histológicos (*Cuadro II*).

Cuadro II. Nomenclatura de lesiones premalignas del cérvix uterino.

<i>Examen Citológico</i>	<i>Examen Histológico</i>		
Papanicolaou	Reagan (Displasia)	Richard (NIC)	Bethesda
Clase I (normal)	-	-	-
Clase II (células con alteraciones inflamatorias)	Leve	NIC I	LIEGB
Clase III (células sugestivas, no malignas)	Moderada	NIC II	LIEGA
	Severa	NIC III	
Clase IV (sugestivas de malignidad)	Cáncer in situ	Cáncer	Cáncer
Clase V (malignidad)	Cáncer invasor		

La Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO) ha definido el sistema de clasificación más utilizado para el cáncer cérvico-uterino (cuadro III). Este sistema se basa en el examen clínico y en el resultado de estudios radiológicos específicos. El significado es ante todo pronóstico, y tiene implicaciones terapéuticas.

El tratamiento de este tumor puede ser a base cirugía, quimioterapia y radioterapia de dependiendo la modalidad o la combinación de tratamientos del tipo y del estadio del tumor.

Entre las drogas frecuentemente utilizadas se encuentra el cisplatino (CIS) y la adriamicina sin embargo su utilidad se ve limitada por la resistencia de las células tumorales a la quimioterapia y por el desarrollo de efectos colaterales (8-10). El CaCu al igual que otros tumores muestra dos etapas críticas celular: la apoptosis y la senescencia. El primero se produce en condiciones normales o de las condiciones fisiológicas o por estímulos tales como la quimioterapia y constituye una vía común para el reemplazo de células, la remodelación de tejidos, la elimi-

nación de células dañadas y la eliminación de las células tumorales (11). Es un proceso complejo que implica la participación de las caspasas, la activación de los genes proapoptóticos, entre otras moléculas. Así pues la apoptosis se define por las características morfológicas incluyendo formación de burbujas (blebbing) en la membrana celular, la contracción de células, la condensación de la cromatina, y fragmentación del nucleosoma con la formación de cuerpos apoptóticos (12-13).

Cuadro III. Clasificación del cáncer cérvico-uterino por estadios

<i>Clasificación FIGO, 1985</i>
<i>Estadio I. Tumor limitado al cérvix</i>
Ia Carcinoma preclínico, diagnosticado sólo al microscopio
Ia1 Invasión mínima del estroma, microscópicamente evidente
Ia2 Lesión detectada microscópicamente y que se puede medir (profundidad < 5 mm, extensión horizontal < 7 mm)
Ib Lesiones mayores que Ia2, aunque no se vean clínicamente
<i>Estadio II. Tumor que se extiende fuera del cérvix sin afectar a la pared pélvica</i>
IIa Sin afectación obvia del parametrio
IIb Afectación obvia del parametrio
<i>Estadio III. Tumor que afecta a la pared pélvica o al tercio inferior de la vagina</i>
IIIa Sin extensión a la pared pélvica, pero con afectación del tercio inferior de la vagina
IIIb Extensión hasta la pared pélvica o hidronefrosis o riñón no funcional
<i>Estadio IV. Tumor que afecta a vejiga, recto o con metástasis a distancia</i>
IVa Extensión del crecimiento a órganos adyacentes (afectación de mucosa rectal o vesical)
IVb Metástasis a distancia

La senescencia, se había definido como el paro del crecimiento de las células después de un cierto número de divisiones celulares (14), ahora se considera un programa biológico terminal de detención de crecimiento celular y puede ser inducida por el acortamiento de los telómeros (senescencia por envejecimiento) o por lesiones en el ADN que no impliquen el acortamiento telómeros (senescencia acelerada). En este estado, las células no pueden dividirse, aun cuando son estimulados por mitógenos, pero siguen siendo metabólicamente activo. Se pueden distin-

guir morfológicamente y ampliada por su forma aplanada de células y el aumento de granularidad. Esta distinción es identificable con gran especificidad a través de la detección de β -galactosidasa (SA- β -gal). La senescencia muestra un doble comportamiento en pacientes con cáncer, ya que inhibe las células tumorales (15).

La quimioterapia antitumoral es a menudo limitada por su propia toxicidad y por la generación de células resistentes, sin embargo con la idea de aumentar la eficiencia, reducir la resistencia a la quimioterapia y disminuir sus efectos colaterales, varios productos han sido ensayados para sensibilizar las células tumorales a los medicamentos contra el cáncer (16).

Pentoxifilina (PTX), 1-(5-oxohexyl) 3,7-dimetil xantina es un inhibidor de las fosfodiesterasas, con potentes propiedades hemorreológicas que se ha utilizado durante más de veinte años en la clínica para enfermedades circulatorias (17). Sin embargo su potencial terapéutico aun no ha sido determinado completamente, por ejemplo gracias a su efecto inhibidor sobre factores angiogénicos, los cuales se encuentran sobreexpresados en los tejidos tumorales más invasivos, la ha hecho meritoria de estudios exhaustivos relacionados con la migración celular tumoral (18).

Experimentalmente se ha observado que en la nefrotoxicidad producida por CIS, una dosis de 20mg/kg conduce a una falla renal severa en ratones de experimentación con un aumento en la expresión de TNF- α , TGF- β , RANTES, MIP-2, IL-1 β e ICAM-1 en los riñones de los animales tratados, en niveles séricos y urinarios el TNF- α mostró un aumentó. El tratamiento con PTX y anticuerpos anti-TNF- α , reducen la expresión de estas citocinas y quimiocinas, excepto el ARNm de ICAM-1, además se reduce la disfunción renal y el daño estructural inducido por la administración de CIS (19).

Por otra parte el NF- κ B es un factor de transcripción que normalmente se encuentra anclado al citoplasma, por un complejo molecular denominado I κ B, sin embargo cuando existe un estímulo inflamatorio o incluso el estrés ocasionado por drogas antitumorales como CIS, el complejo molecular I κ B se fosforila y se separa del NF- κ B para que este llegue al núcleo y estimule una amplia variedad de genes y citocinas como el TNF- α con actividad antiapoptóticas, (20-22). A este respecto nuestro grupo ha publicado que tanto in vivo como in vitro células tumorales tratadas con PTX + adriamicina presentan más apoptosis que las células tratadas exclusivamente con adriamicina. Así mismo observamos que ratones portadores de linfoma tratados con PTX más adriamicina sobrevive el 100 % in-

clusivo utilizando la mitad de la dosis reportada como activa en roedores para la adriamicina contra un 40 % de animales tratados exclusivamente con adriamicina con la dosis reportada como activa (23-24). Otras observaciones importantes que hemos reportado sugieren que la acción de PTX no es exclusivo para adriamicina, de la misma manera PTX pueden sensibilizar a las células leucémicas a la acción tóxica del alcohol perílico (25), confirmandose en estos reportes la participación la inhibición del NF- κ B. Estos resultados en su conjunto nos permitieron establecer el concepto de quimioterapia con bases moleculares racionales (24). Actualmente el CIS es una de los principales agentes quimioterapéuticos en cáncer de cérvix sin embargo, se desconoce si el tratamiento con PTX pueda modificar la acción tóxica inducida por el CIS a células tumorales de cáncer de cérvix. Lo que podría repercutir en una mayor eficiencia de la quimioterapia y muy probablemente una disminución de los efectos colaterales de esta.

Por lo anterior pretendemos *in vitro* en líneas celulares de cáncer de cérvix infectadas con VPH 16 y 18, estudiar si la PTX puede sensibilizarlas a la acción tóxica del CIS.

Objetivo general

Estudiar la apoptosis en células SiHa Parental (SiHaP) y SiHa Resistente a Cisplatino (SiHaRC) y si el efecto del pretratamiento con Pentoxifilina modifica los índices de apoptosis generados por el tratamiento con Cisplatino.

Objetivos Específicos

- 1) Analizar por XCELLingence (Roche) la resistencia a CIS determinando la Dosis Inhibitoria 50 (CI₅₀) a CIS en las líneas celulares tumorales resistentes a CIS.
- 2) Valorar mediante la reducción de sales de tetrazolium (WST-1) si el pretratamiento con PTX modifica la sobrevivencia celular en SiHaP y SiHaRC.
- 3) Determinar si el pretratamiento con PTX incrementa la apoptosis inducida por el CIS en SiHaP y SiHaRC.
- 4) Valorar por citometría de flujo las proteínas antiapoptóticas BCL-2 y BCL-XL en células SiHaP y SiHaRC el efecto del pretratamiento con PTX.
- 5) Estudiar la activación o inhibición de genes proapoptóticos *caspasas* 3 y 9.

Descripción general de la metodología

Línea Celular

Células SiHa^{VP16} derivada de cáncer de cérvix donadas gentilmente por el Dr. Boukamp (DKFZ-Heidelberg, Alemania). La presencia del virus del papiloma humano fue confirmado por la prueba de geno-tipificación por Linear array® (Roche). Las Líneas celulares fueron mantenidas *in vitro* y propagadas in medio de cultivo Dullbeco's modificado Eagle's (DMEM) suplementado con 10 % de suero fetal bovino, 1X L-glutamina (2mM concentración final) y penicilina/estreptomicina (DMEM-S) incubadas a 37°C en una atmósfera húmeda con 5 % de CO₂ y 95 % de aire.

SiHa resistente a cisplatino

La línea celular SiHa parental (SiHaP) fue sometida bajo las condiciones de cultivo descritas y sometida a concentraciones progresivas de cisplatino (0.1µM a 150 µM concentración final) para el desarrollo de resistencia a la droga por más de 8 meses. La sublínea cisplatino resistente se le dio la designación de SiHaRC y se comparo con su línea SiHaP. Para mantener el fenotipo resistente las células SiHaRC se cultivaron en medio DMEM-S con presencia de cisplatino a 1 µM concentración final.

Drogas y condiciones experimentales

El cisplatino fue obtenido de laboratorios PISA, México y almacenado a 8°C hasta el momento de su uso, las dosis deseadas se ajustaron con medio DMEM-S y fueron utilizadas inmediatamente. Pentoxifilina (PTX) (Sigma Chemical Co., Saint Louis MO, EUA) fue disuelta en solución salina estéril 0.15 M a una concentración de 0.2 M y mantenidas a 4°C.

Tratamientos in vitro

Las células y SiHaP y SiHaRC fueron resuspendidas en medio DMEM-S a una concentración de 2×10^6 células/8mL en fase exponencial y sembradas en caja de petri p100 para los ensayos de citometría de flujo y análisis de PCR-en tiempo real. Para los ensayos de sobrevida celular y determinación de la CI₅₀ las células fueron cultivadas en placas de 96 pozos a una concentración de 3×10^4 células/pozo/200µl (volumen final). En todos los casos, las células se dejaron reposar una noche previa

al ensayo a 37° C en una atmósfera húmeda conteniendo 5 % de CO₂ y 95 % de aire. Previo al tratamiento en medio fue reemplazado por DMEM-S fresco. Las células fueron tratadas con PTX (8mM), CIS (100 µM y 30 µM) o PTX + CIS (concentración final). Las dosis individuales de las drogas utilizadas, son los resultados de los análisis de las curvas dosis respuestas. Las células fueron incubadas con PTX una hora previa a la adición del CIS. Para el estudio de la expresión génica, las células fueron incubadas con las drogas solo tres horas.

Sobrevida celular

La sobrevida celular se determinó, mediante el kit comercial WST-1 (BioVision Research Products, Mountain View, CA, EUA) de acuerdo a las instrucciones descritas por el fabricante. Las muestras se analizaron por espectrofotometría a 450 nm utilizando un microlector de placas (Biotek). Los datos se reportan en porcentaje de sobrevida celular en comparación a sus respectivos grupos controles no tratados (100 %). Los valores de IC₅₀ (concentración de compuesto que causa el 50 % de reducción de viabilidad celular) fue calculada, obteniendo una regresión no lineal usando se el software *GraphPad Prism 5.0-Prism*. Los resultados de IC₅₀ se expresan en µM ± D.E (desviación estándar).

Apoptosis

La apoptosis se analizó mediante el ensayo de Anexina V-FITC (Bender MedSystems^{MR}) por citometría de flujo, siguiendo las indicaciones del fabricante. Las células controles o tratadas (1 X 10⁶) serán incubadas 10 minutos con anexina-V y yoduro de propidio. Las células positivas a la anexina-V fueron consideradas en apoptosis. 20 000 eventos se analizaron en el citómetro de flujo FACSAria de BD y los datos fueron procesados con el programa FACSDiva software package (BD Biosciences).

Expresión de las proteínas Bcl-2, Bcl-XL por citometría de flujo

En cultivos celulares de SiHaP y SiHaRC no tratados y tratados, se determinó la Alexa Fluor® 647mouse antihumano de Bcl-2 y Alexa Fluor® 647 de ratón antihumano Bcl-XL proteínas (Santa Cruz CA) por el flujo citometría. En breve las células se resuspendieron en PBS y se tiñeron según el protocolo para la detección de proteína. Un control de isotipo apropiado fue utilizado en cada prueba para ajustar

por fluorescencia de fondo, y los resultados se informaron como la intensidad de fluorescencia media (MFI). Para cada muestra, al menos 20.000 eventos fueron adquiridos en un clasificador de células FACSaria (BD Biosciences). Los datos se procesaron con el software FACSDiva (BD Biosciences).

Medición de la impedancia con el sistema xCELLigence

Para monitorear el comportamiento celular en tiempo real se utilizó la tecnología innovadora del analizador Real-Time Analyzer placa dual (Roche). El principio de análisis se basa en el seguimiento cuantitativo y continuo de las células en medida a su capacidad de adherencia y proliferación mediante la medición de impedancia eléctrica. El Real-Time Analyzer placa dual placa de 96 pozos (96 E-placas) se colocó dentro de una incubadora bajo condiciones estándares de cultivo celular. Las E-96 placas fueron monitoreadas cada 30 minutos durante 72 h. El análisis de datos se realizó mediante Real-Time Celular software (Roche).

PCR cuantitativa en tiempo real

para genes proapoptótico, antiapoptóticos y senescencia

El ARN total de las células fue obtenido después de 3 horas de incubación mediante el kit PureLink™ Micro-to-Midi sistema de purificación de ARN total (Invitrogen Corporation). A partir de 5 mg de RNA se sintetizó el cADN para lo cual se utilizó la enzima Superscript™ III (Invitrogen Corporation). Posteriormente se realizó la PCR en Tiempo Real en el aparato LightCycler® 2.0 (Roche) utilizando el kit Light-Cycler FastStar DNA Master^{PLUS} SYBR Green I (Roche). El programa de PCR consistió en un paso inicial de 10 minutos a 95° C, y 40 ciclos de 15 s a 95° C, 5 s a 60° C y 15 s a 72° C. El análisis de productos de PCR se realizó mediante el software LightCycler (Roche). Los datos se expresaron como cantidades relativas normalizadas mediante la expresión de la proteína ribosómica como gen de referencia. Cada una de las muestras fue procesada por triplicado para verificar la especificidad de la reacción de amplificación. La meta de eficiencia de la amplificación en las condiciones descritas se aproxima al 100 %. Los oligonucleótidos (Invitrogen Corporation) utilizados fueron diseñados sobre la base de datos del GenBank del Centro Nacional de Información sobre Biotecnología (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) utilizando el software *Oligo* v.6. Las secuencias para los genes con actividad proapoptótica, *caspasas -3* y *-9* y antiapoptótica (*bcl-XL*).

Análisis estadístico

Los resultados de cada experimento representan la media \pm desviación estándar (DE) de 3 experimentos independientes llevados a cabo por triplicado. La prueba *t* de Student fue utilizada para el análisis estadístico. Para la comparación de la expresión génica se consideraron diferencias $\geq 30\%$.

Resultados y logros

El cambio en la impedancia celular mediante el análisis de la adhesión de la membrana celular es un reflejo de la capacidad de proliferación celular se expresa como el índice de celular, este índice celular es un reflejo del estado morfológico general de la célula, así como el número de células con calidad de fijación. Para determinar el grado de resistencia adquirida al cisplatino en nuestra línea celular SiHaRC realizamos en análisis en tiempo real de impedancia celular obteniendo como resultados a las 48 horas postratamiento un CI50 para SiHaP de $30\ \mu\text{M}$ y para SiHaRC de $60\ \mu\text{M}$, consiguiendo una resistencia al Cisplatino de 2.3 veces más comparada con la línea celular parental. Confirmamos con estos resultados la generación de una línea celular de cáncer de cérvix resistente a Cisplatino. A partir de estos datos decidimos trabajar con dosis de 15 y $30\ \mu\text{M}$ de Cisplatino para el tratamiento de SiHaP y SiHaRC respectivamente para obtener apoptosis y no necrosis en nuestro modelo de estudio.

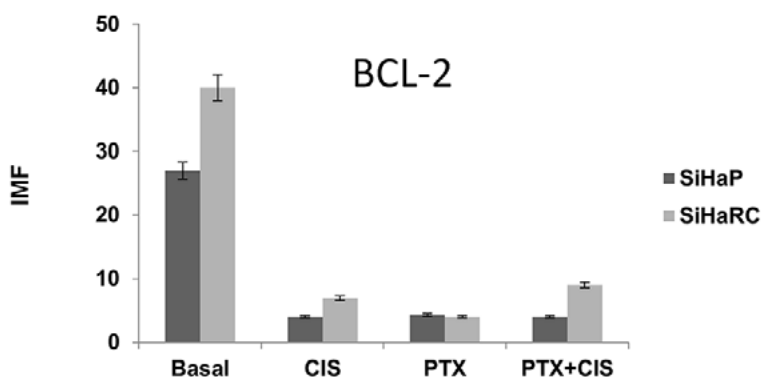
Sobrevida celular

La supervivencia celular de SiHaP y SiHaRC fue evaluada mediante el ensayo de WST-1 luego de la exposición de las drogas de manera individual o en combinación. En este ensayo nosotros observamos que la combinación de ambas drogas en las dos líneas celular reduce de manera significativa la sobrevida celular, con una diferencia estadística de $p < 0.05$ comparada con su respectivo grupo control. De igual manera observamos de nuevo el efecto *per se* de pentoxifilina sobre la sobrevida celular, reduciendo esta de manera considerable. Con respecto a la inducción de apoptosis cuando analizamos el % de Anexina V inducido en ambas líneas celular observamos que este aumento 7 veces más en grupo que recibió la combinación de tratamiento.

El análisis de las proteínas antiapoptóticas es también un reflejo de la resistencia adquirida al cisplatino ya que existen reportes que mencionan que las cé-

lulas resistentes a las drogas antitumorales esta mediada de cierta manera por al aumento de BCL-2 y BCL-XL, motivo por el cual decidimos medir estas para darnos una idea de lo que esta pasando dentro las células. Los resultados obtenidos los podemos observar en las figuras en donde observamos que la intensidad de fluorescencia media basal de BCL-2 en las líneas SiHaP y SiHaRC es de 27 y 40 respectivamente con una diferencia de casi 1.5 veces más en la línea resistente, para BCL-XL basal es de 48 y 63 para SiHaP y SiHaRC respectivamente, cuando las células fueron sometidas al tratamiento observamos que la intensidad de fluorescencia minima se reduce significativamente comparada con el grupo control sin tratamiento.

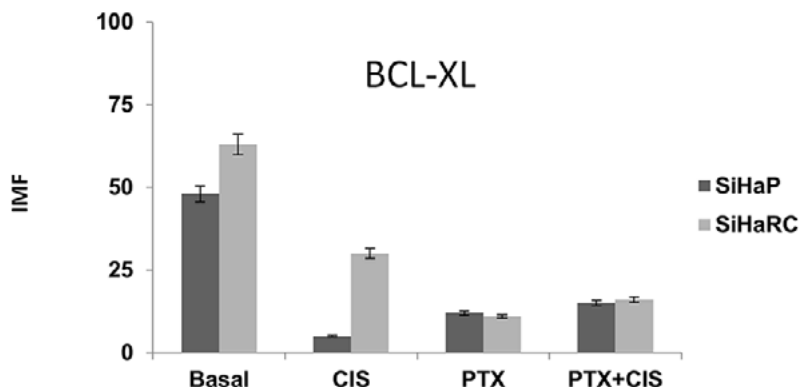
Figura 1



Muestra la intensidad media de fluorescencia de Bcl-2 en las líneas celulares SiHaP y SiHa RC expuestas a distintos tratamientos con CIS, PTX y PTX+CIS.

El RNAm de las caspasas 3 y 9 analizados mediante PCR tiempo Real están incrementados en el grupo de células tratadas con ambas drogas en ambas líneas celulares, de igual manera observamos que la pentoxifilina por si sola incrementa el RNAm de estas caspasas catalogadas como inductoras y ejecutoras de apoptosis por lo que nos lleva a pensar que la resistencia al cisplatino no está mediada por estos mecanismo, sin embargo es posible inducir e incrementar la muerte en este tipo de células.

Figura 2



Muestra la intensidad media de fluorescencia de Bcl-xL en las líneas celulares SiHaP y SiHa RC expuestas a distintos tratamientos con CIS, PTX y PTX+CIS.

Bibliografía

1. Vincent De Vita, S. H., Steven Rosenberg (2001). Cancer Principles & Practice of oncology, Lippincott Williams & Wilkins.
2. Base de datos. Secretaría de Salud, M. (2007). «<http://www.salud.gob.mx>.» Retrieved 2007/10/15, 2007.
3. Jemal A, Siegel R, Ward E, Hao Y, Xu J, Thun MJ.: *Cancer statistics 2009*. CA Cancer J Clin 2009; 59(4):225-49.
4. Goldie SJ, O'Shea M, Campos NG, Diaz M, Sweet S, Kim SY.: countries. Vaccine 2008; 29:26(32):4080-93.
5. Chakrabarti, O. and S. Krishna. «Molecular interactions of 'high risk' human Papillomavirus E6 and E7 oncoproteins: implications for tumor progression.» J Biosci 2003;28(3): 337-48.
6. Muñoz N, B. F., de San José S, Herrero R, Castellsagué X, Shah KV, Snijders PJF, Meijer ChJLM. «Epidemiologic classification oh human Papillomavirus types associated with cervical cancer.» N Engl J Med 2003;348: 518-527.
7. Bosch, F. X.: «Epidemiology of human Papillomavirus infections: new options for cervical cancer prevention.» Salud Pública Mex 2003; 45 Suppl 3: 326-39.
8. Markman M *Presentation of chemotherapy options for cervix cancer on cancer-related Internet sites*. J Womens Health (Larchmt) 2009; 18(6): 827-9.
9. Injac R, Strukelj B.:*Recent advances in protection against doxorubicin-induced toxicity*. Technol Cancer Res Treat 2008; 7(6):497-516.
10. Chen JR, Yang YC, Chen TC, Lai JC, Chang SJ, Chang CL, Wang KL.: *Salvage chemotherapy in recurrent cervical cancer with biweekly pegylated liposomal Doxorubicin (lipo-dox)*. Taiwan J Obstet Gynecol 2008; Sep; 47(3):322-6.
11. Opferman JT.: *Apoptosis in the development of the immune system*. Cell Death Differ 2008; 15(2): 234-42.

12. Dominguez-Rodriguez, J.R.; Chaparro-Huerta, V.; Hernandez-Flores, G.; Gomez-Contreras, P.C.; Lerma-Diaz, J.M.; Ortiz-Lazareno, P.C.; Cervantes-Munguia, R.; Orbach-Arbouys, S.; Scott-Algara, D.; Cuellar, A.B. In vivo adriamycin-induced apoptosis in peritoneal murine macrophages: partial participation of a caspase cascade. *Anticancer Res* 2004; 24 (5A): 2689-96.
13. Elmore, S. Apoptosis: a review of programmed cell death. *Toxicologic pathology* 2007; 35 (4):495-516.
14. Keyes, W.M.; Wu, Y.; Vogel, H.; Guo, X.; Lowe, S.W.; Mills, A.A. p63 deficiency activates a program of cellular senescence and leads to accelerated aging. *Genes & development* 2005;19 (17): 1986-99.
15. Xiao X, Wang Y, Gong H, Chen P, Xie L.: *Molecular evidence of senescence in corneal endothelial cells of senescence-accelerated mice*. *Mol Vis* 2009; 15:747-61.
16. Shabbits, J.A.; Hu, Y.; Mayer, L.D. Tumor chemosensitization strategies based on apoptosis manipulations. *Molecular Cancer Therapeutics* 2003;2 (8): 805-13.
17. Lopes de Jesus CC, Atallah AN, Valente O, Moça Trevisani VF.: Pentoxifylline for diabetic retinopathy. *Cochrane Database Syst Rev* 2008 Apr 16 ;(2):CD006693.
18. Samlaska CP, Winfield EA: Pentoxifylline. *J Am Acad Dermatol* 1994; 30(4): 603-21.
19. Ramesh G, Reeves WB: TNF-alpha mediates chemokine and cytokine expression and renal injury in cisplatin nephrotoxicity. *J Clin Invest* 2002; 110(6): 835-42.
20. Gaumann A, Tews DS, Mayer E, Dahm M, Petrow PK, Otto M, Kirkpatrick CJ, Kriegsmann J. Expression of apoptosis-related proteins, p53, and DNA fragmentation in sarcomas of the pulmonary artery. *Cancer* 2001; 92(5):1237-44.
21. Zhang S, Lin ZN, Yang CF, Shi X, Ong CN, Shen HM.: Suppressed NF-kappaB and sustained JNK activation contribute to the sensitization effect of parthenolide to TNF-alpha-induced apoptosis in human cancer cells. *Carcinogenesis* 2004; 25 (11): 2191-9.
22. Cárcamo JM, Pedraza A, Bórquez-Ojeda O, Golde DW. : *Vitamin C suppresses TNF alpha-induced NF kappa B activation by inhibiting I kappa B alpha phosphorylation*. *Biochemistry* 2002; 41(43):12995-3002.
23. Bravo Cuellar A, Lerma Díaz JM, Gómez Contreras P, Domínguez Rodríguez JR, Hernández Flores G, Astengo Osuna C: Efecto de la pentoxifilina y catalasa en la apoptosis inducida por adriamicina en células de linfoma murino L5178-Y, *in vivo*. *Revista del Instituto Nacional de Cancerología* 1999; 45(4): 256.
24. Lerma-Díaz JM, Hernández-Flores G, Domínguez-Rodríguez JR, Ortiz-Lazareno PC, Gómez-Contreras P, Cervantes-Munguia R, Scott-Algara D, Aguilar-Lemarroy A, Jave-Suárez LF, Bravo-Cuellar A. In vivo and in vitro sensitization of leukemic cells to adriamycin-induced apoptosis by pentoxifylline. Involvement of caspase cascade and IkBa phosphorylation. *Immunology Letter* 2006; 103: 149-158.
25. Gomez-Contreras PC, Hernández-Flores G, Ortiz-Lazareno PC, Del Toro-Arreola S, Delgado-Rizo V, Lerma-Díaz JM, Barba-Barajas M, Domínguez Rodríguez JR, Bravo Cuellar A. "In vitro induction of apoptosis in U937 cells by perillyl alcohol with sensitization by Pentoxifylline: increased BCL-2 and BAX protein expression". *Chemotherapy* 2006; 52(6):308-15.

Caracterización de películas comestibles enriquecidas con extracto de semillas de cítricas

M.E. TORIBIO NAVA¹

Y. ESTRADA GIRÓN²

Resumen

El uso de películas comestibles (PC) o recubrimientos comestibles (RC), constituye una alternativa para proteger los alimentos perecederos de su deterioro natural y de pérdidas de calidad durante su almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue caracterizar y evaluar películas comestibles elaboradas a base de mucílago de nopal y pectina cítrica enriquecidas con extracto de semilla de toronja como agente antimicrobiano. Se elaboraron 18 formulaciones usando 100/0 %, 75/50 %, 50/50 % (pectina/mucílago), 2 y 5 % de glicerol y 0.25, 0.50 y 1.0 % de extracto de semilla. El color de las películas se ubicó en el cuadrante I (+a*, +b*) que va de color rojo-amarillo; siendo las películas más luminosas las formuladas con 100P, y las menos luminosas las formuladas con 50P/50N. La cantidad de glicerol no tiene efecto sobre el color de las películas ($P \leq 0.05$), pero sin embargo, a mayor concentración del glicerol mayor es la PVA y la solubilidad ($P \leq 0.05$). La solubilidad para las películas 50P/50N fue de 77.73 %, las 75P/25N de 84.28 % y para las de 100P de 93.67 %. El porcentaje de elongación de las películas se ve mejorado al incrementar la cantidad de glicerol ($P \leq 0.05$). El módulo elástico de las películas depende de la base de película y de la cantidad de glicerol en la formulación ($P \leq 0.05$). La película que presentó mejores características fisicoquímicas para su aplicación fue la de 75 % pectina con 25 % mucílago, 2 % glicerol y 0.5 % extracto.

[1] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara sede CUCEI, Jalisco, México. E-mail: lenis_tn@hotmail.com.

[2] Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara sede CUCEI, Jalisco, México. E-mail mara_es_gi@yahoo.com.

Palabras clave: Películas comestibles, mucílago de nopal, pectina cítrica, permeabilidad al vapor de agua, propiedades mecánicas.

Introducción

Desde hace algún tiempo, el área de la ingeniería y tecnología de alimentos ha estado investigado sobre el uso de películas comestibles (PC) o recubrimientos comestibles (RC), para proteger los alimentos perecederos de su deterioro natural y de pérdidas importantes de la calidad provocadas por el medio ambiente durante el periodo de almacenamiento de éstos. Sin embargo, en la última década ha aumentado de forma muy notoria el interés en el desarrollo y uso de materiales de envase biodegradables que prolonguen la vida útil y que mejoren la calidad de los alimentos ya sean frescos, congelados, procesados, entre otros.

Una película comestible se define como una capa delgada de material que puede ser consumido y que provee de una barrera hacia la humedad, oxígeno y movimiento de solutos para el alimento (Guilbert S. , 1986: 371-394) (Bourtoom, 2008b: 237-248). Las películas comestibles pueden aplicarse al alimento como membrana protectora de una manera similar a como lo hiciera la naturaleza con las epidermis de los frutos, o bien, bajo la forma de bolsas de plástico convencionales. Se habla indistintamente de película o recubrimiento, haciendo referencia a una delgada capa de material que cubre la superficie del alimento, aplicada mediante inmersión, pulverización, cepillado, pintado, o bien como una envoltura continua que separa distintos componentes alimenticios y que puede ser consumida como parte del producto o simplemente ser biodegradable (Krochta & De Mulder Johnston, 1997: 61-74).

Los recubrimientos comestibles se pueden aplicar en frutos intactos (Díaz Sobac y col., 2002: 129-141) (Del Valle V y col., 2005: 751-756) y en productos mínimamente procesados que a su vez producen un ambiente modificado al interior del fruto y retardan el proceso de senescencia de forma similar al de una atmósfera modificada, pero a más bajo costo, permitiendo de esta forma generar desarrollo a nivel agroindustrial y revolución en el manejo de poscosecha en el mercado.

Un recubrimiento o película comestible confiere diferentes propiedades fisicoquímicas al alimento, manteniendo sus propiedades sensoriales, además debe cubrir los siguientes requerimientos para poder ser utilizado en alimentos (McHugh & Krochta, 1994b: 307-312):

- 1) Mejorar propiedades de barrera: como inhibir o reducir la migración de humedad y controlar el transporte de gases (O₂, CO₂ y etileno). Presentando una adecuada permeabilidad al vapor de agua y solutos, además de brindar una permeabilidad selectiva a gases.
- 2) Desarrollar propiedades mecánicas: impartiendo integridad estructural a los alimentos y favoreciendo el manejo del mismo.
- 3) Retener compuestos volátiles (aromas y sabores).
- 4) Actuar como barrera contra sustancias extrañas.
- 5) Servir como vehículo de aditivos (antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, colorantes).
- 6) Permitir una conservación prolongada de frutas y hortalizas controlando los procesos de maduración prolongando su vida de anaquel.
- 7) Deben ser transparentes, no otorgar sabor y olor diferente al alimento y no ser detectados durante su consumo.
- 8) Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- 9) Tener suficiente estabilidad bioquímica, física y microbiológica.
- 10) Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- 11) Las materias primas y el costo de producción del recubrimiento deben ser de bajo costo.

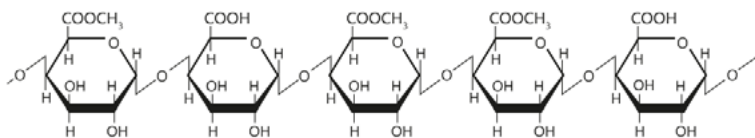
Además, Kester & Fennema (1986) reportan que las películas comestibles:

- 1) Ayudan a mejorar ciertas propiedades de apariencia del producto.
- 2) Retardan la migración de grasas y aceites o reducen la absorción de grasas durante el proceso de fritura de productos.
- 3) Imparten integridad estructural a los alimentos y favorecen el manejo del mismo
- 4) Retardan la pérdida de humedad de los alimentos frescos o congelados.
- 5) Retardan la absorción de humedad en otros casos como en alimentos en polvo o crujientes
- 6) Permiten la separación de piezas o dosis específicas contenidas en un mismo envase facilitando de esta manera su consumo.
- 7) Retardan o previenen el crecimiento microbiano durante el almacenamiento.

Los recubrimientos o películas comestibles se producen a partir de materiales que poseen la habilidad formadora del film. Durante su manufactura estos materiales se dispersan o disuelven en solventes como el agua, alcohol o una mezcla de agua y alcohol u una mezcla de otros solventes. Existen básicamente dos tipos de biomoléculas empleadas para la elaboración de películas los hidrocoloides (proteínas o carbohidratos) y los lípidos; estas moléculas son biopolímeros naturales de origen animal o vegetal, y de alto peso molecular que proporcionan una matriz macromolecular con resistencia cohesiva alta, presentan bondades de biodegradabilidad, comestibilidad, apariencia estética y buenas propiedades de barrera (Durango y col., 2011: 122-128).

En esta investigación se utilizó la pectina como matriz estructural, ésta es un polisacárido heterogéneo, higroscópico, de gran peso molecular proveniente de las partes blancas o albedo de los frutos cítricos, pera y manzana, y soluble en ácidos y agua. Tiene propiedades de gelificación, estabilización de emulsiones y aporte de fibra nutricional. Estructuralmente, las pectinas están constituidas por un esqueleto de residuos de ácido galacturónico (AGA) unidos entre sí por enlaces α -1,4 (figura 1). Algunos de los grupos carboxílicos de las moléculas de AGA en las cadenas de pectina están metil esterificados y el porcentaje grupos esterificados se expresa como GE (grados de esterificación). Entonces el GE es definido como el número de residuos de ácido D-galacturónico esterificado o metoxilados (COOCH_3) por el grupo metilo. Las pectinas se han dividido en dos grandes grupos, dependiendo de su GE, en pectinas de alto metoxilo (PAM) que poseen un GE superior al 50 %, gelifican en pH ácido de 2.0 a 4.5, en presencia de sólidos solubles (60-65 %); y pectinas de bajo metoxilo que necesitan iones calcio y un pH de 2.8 a 6.5 para gelificar, poseen un GE menor al 45 % (Grunauer E. & Cornejo Z, 2009) (Badui Dergal, 1999) (Sánchez Aldana-Villaruel y col., 2011: 76-82).

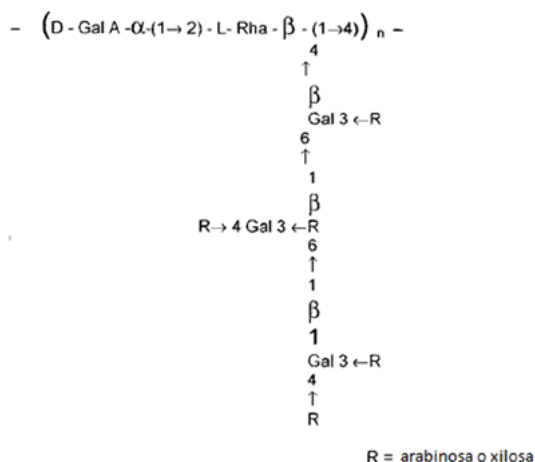
Figura 1. Región de la cadena lineal de la estructura de la pectina



Otro componente estructural empleado en esta investigación fue el mucílago de nopal, que es un carbohidrato complejo, forma parte de la fibra dietética. Entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cáscara, cladodio), entre otros factores (Abraján Villaseñor, 2008). El peso molecular del mucílago nopal es de 13.3×10^6 g/mol (Sáenz y col., 2004: 275-290). Este compuesto mucilaginoso se presenta tanto en los cladodios como en la piel y pulpa del nopal (*Opuntia ficus indica*), aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda (1993) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0.5 por ciento en la cáscara y 1.2 por ciento en los cladodios.

McGarvie y Parolis (1981) propusieron una estructura del mucílago describiendo a la molécula como una cadena lineal repetida de (1→4) de α-D-ácido galacturónico y (1→2) β-L-ramnosa con cadenas laterales de (1→6) β-D-galactosa unida a residuos de ramnosa O-4. Los residuos de galactosa presentes pueden ser sustituyentes en la posición O-3, o doble sustitución en O-3 y O-4. En la figura 2 se muestra una estructura propuesta para el mucílago de nopal.

Figura 2. Estructura parcial propuesta para el mucílago de *Opuntia ficus indica*



Además, otra propiedad importante de los recubrimientos es su capacidad para incorporar ingredientes funcionales dentro de la matriz para mejorar su funcionalidad, como ayudar a mejorar las propiedades mecánicas del recubrimiento o facilitar su obtención usando plastificantes, y emulsionantes o surfactantes para estabilizar la composición de las películas y mejorar la adherencia del recubrimiento. Otra gama de ingredientes que se pueden adicionar a los RC son los antioxidantes, agentes antimicrobianos, conservadores, sabores, colores y reafirmantes de textura con el fin de mejorar las propiedades de las coberturas brindando mayor calidad, estabilidad y seguridad a los alimentos recubiertos..

Materiales y métodos

Extracción del mucílago de nopal

Las pencas de nopal fueron compradas en un supermercado de la localidad de Guadalajara, Jalisco. La extracción del mucílago de nopal se realizó de acuerdo a la metodología empleada por Bouttier Figueroa (2011), que consiste en lavar las pencas de nopal con agua potable, desinfectarlas con una solución de hipoclorito de sodio al 2 % durante 20 minutos, posteriormente se cortaron en geometrías de 1x1 cm, se pesaron lo nopales picados, se sometieron los trozos a un proceso de esterilización en autoclave a 121°C, 16 psi por 10 minutos, en seguida se realizó un machacado de los trozos para extraer el mucílago, en seguida se homogeneizó el nopal machacado con agua destilada (1:4 w/w, nopal/agua) para conseguir el equilibrio osmótico y se dejó macerar la mezcla durante un tiempo de 45-60 minutos. Después se filtró la mezcla mucílago-agua con manta de cielo para eliminar residuos (fibra) de nopal y obtener el mucílago, y posteriormente se precipitó el mucílago usando etanol al 96 % (1:2.5 v/v, mucílago/etanol) durante 24h a temperatura ambiente; el etanol provoca la insolubilización de los polímeros. Después de la precipitación, se filtró la mezcla para recuperar el sobrenadante (mucílago precipitado), se secó este sobrenadante por 8 horas a 50°C en un horno con circulación de aire, posteriormente se trituró y tamizó (malla 80) y finalmente se almacenó en frascos de vidrio.

Pectina cítrica

Fue obtenida comercialmente, grado alimenticio, con GE de 75 %.

Extracto de semilla de toronja

Se compró el extracto de semilla de toronja comercial CitruX, presentación en polvo (color beige), soluble en agua y alcohol; con la empresa «Vig condimentos». Grado alimenticio.

Elaboración de películas comestibles

Para la formación de las películas comestibles se mezclaron con agua destilada y 1 % de aceite de oliva las diferentes concentraciones mucílago de nopal y pectina (100P, 75P/25N y 50P/50N) tomado como base de la película el 4 %, extracto de semilla de toronja (0.25, 0.5 y 1.0 %), así como glicerol (2 y 5 %); para ser evaluadas. La mezcla anterior se sometió a agitación magnética durante 18h, este procedimiento aseguró la desintegración de los agregados de mucílago y pectina para formar una mezcla homogénea. La solución formadora de películas fue sometida a vacío para eliminar todas las burbujas que pudieran haber hecho interferencia en la caracterización de éstas. En seguida se midieron 20 mL de dicha solución que fueron colocados en cajas Petri de vidrio de 100 mm de diámetro recubiertas previamente con teflón (película de poliéster) para el fácil desprendimiento de las películas. Posteriormente las placas se introdujeron en un horno con circulación de aire a una temperatura a 40°C durante 18 horas para el secado de las películas. Finalmente las películas fueron desprendidas de las cajas y almacenadas en bolsas plásticas resellables colocadas en un desecador (provisto de sílica gel) hasta su análisis.

Caracterización de las películas

Solubilidad de las películas comestibles: Se utilizó la técnica propuesta por Gontard y col. (1994: 39-50). Se cortaron 2 discos de 2 cm de diámetro de cada película formulada, se pusieron a secar a 105°C durante 3 horas, se pesaron, se sumergieron en 50mL de agua destilada por 24 horas a temperatura ambiente con agitación ocasional. Los residuos de las películas se recuperaron por filtración (papel Whatman núm. 1 a peso constante); que posteriormente fueron secados durante 3 horas a 105°C. Se registró el peso de los de los trozos iniciales y residuos de las películas después del tratamiento en agua para calcular el porcentaje de material soluble mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Material Soluble} = \frac{\text{Peso inicial de la película} - \text{Peso final de la película}}{\text{Peso inicial de la película}} * 100$$

Espesor: El espesor de las películas comestibles se midió con un micrómetro digital Mitutoyo, modelo MDC-1»PJT, con una resolución de 0.00005 in. Se realizaron 15 mediciones aleatorias alrededor de cada película.

Permeabilidad al vapor de agua: La permeabilidad al vapor de agua de las películas se determinó con usando una modificación de la ASTM, E96-80, conocida como «método de la copa». Siguiendo el procedimiento descrito por Zamudio Flores (2005). Se Aplicaron las correcciones del cálculo propuestas por Gennadios y col. (1994b: 395-409).

Se cortaron círculos de 6 cm de diámetro de las PC, se equilibraron en un desecador a una humedad relativa del 52 % provista por una solución saturada de nitrato de magnesio durante 24h. Posteriormente, las películas se colocaron en celdas de permeabilidad. En el interior de las celdas de permeabilidad se depositó una solución sobresaturada de KNO_3 para generar una humedad relativa constante de 93 %; cada celda se colocó en un desecador, el cual contenía una solución saturada de NaCl que generó una humedad relativa constante del 75 %. Estas condiciones permitieron generar un gradiente de presión para que el vapor de agua difundiera a través de la película, ocasionando una pérdida en la sal de mayor humedad relativa (interior de la celda) durante el tiempo de prueba. Se registraron los cambios en el peso de las celdas cada hora utilizando una balanza analítica Ohaus con precisión de 0.0001 g, durante 8 horas.

La velocidad de transmisión de vapor de agua medida (VTVA_m) se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{VTVA}_m = \frac{\Delta w}{\Delta t \cdot A} \quad (\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$$

En donde Δw es el cambio de peso (g) de la celda de permeación durante el tiempo Δt con un área de la película.

Color: El color se midió tomando 5 lecturas en diferentes puntos de las películas usando un Colorímetro Konica Minolta CR-410 en iluminante C y ángulo de observación de 2°, calibrado con un estándar de color blanco. Las lecturas se reporta-

ron en el sistema CIELAB (L^*, a^*, b^*). Se calcularon los parámetros de cromacidad (C) y ángulo Hue ($^\circ h$) usando las siguientes ecuaciones:

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h_{ab}^* = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \text{ en deg}$$

Donde: L^* es la luminosidad o claridad, a^* y b^* son las coordenadas cartesianas, es el ángulo de tono de giro o matiz y es el croma o índice de saturación de color.

Propiedades mecánicas: Las pruebas mecánicas consistieron en ensayos de tensión para la determinación de la deformación (σ , Mpa), el porcentaje de elongación (ϵ , %) y el módulo elástico (E, Mpa). Para determinar la resistencia de las películas a la tensión, las pruebas mecánicas fueron realizadas de acuerdo con el estándar ASTM-882-02 en un equipo llamado Máquina de Pruebas Universales United fm 10, usando una celda de carga de 10 N. Previo a la prueba se cortaran probetas rectangulares de 2.54 x 8.5 cm que fueron acondicionadas a una HR de 53 % durante 24h. Se determinó el grosor de cada probeta como se señala en la sección 5.2.2 en 6 posiciones aleatorias a lo largo del rectángulo. El valor promedio de cada probeta se utilizó para calcular el área de sección transversal sobre la cual se ejerce la fuerza de tensión, el área es igual al grosor multiplicado por el ancho de cada película.

Una vez determinado el espesor promedio de cada uno de los rectángulos de las películas, se procedió a colocarlas entre las mordazas de sujeción del equipo United. La separación entre las pinzas fue de 30mm. Cada extremo fue sujetado colocando 27.5 mm del rectángulo en cada una de las pinzas de sujeción. La velocidad de deformación fue de 7.5 mm/s. El esfuerzo de tensión fue calculado por la división de la fuerza máxima sobre la película durante la fractura entre el área de sección transversal (espesor por el ancho). El porcentaje de elongación a la fractura fue calculado por la medición de la extensión máxima de la película entre la separación final e inicial de las pinzas.

Diseño de experimentos

Para la evaluación de las películas se utilizó un diseño multifactorial 3x3x2 con n=2 réplicas.

Tabla 1. Factores controlados y niveles usados para la caracterización de las películas comestibles

<i>Factores controlados</i>	<i>Niveles</i>
Base de la película:	100P, 75P/50N, 50P/50N
% de Glicerol	2 y 5%
Concentración de extracto	0.25, 0.5 y 1%

Mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P).

Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5 % ($\alpha=0.05$), además de la prueba de rangos múltiples LSD para comparación de medias. Todos los análisis se realizarán con el Software STATGRAPHICS Centurion XVII.

Resultados

Caracterización de las películas comestibles

Extracción de mucílago de nopal: Del proceso de extracción se obtuvo un polvo blanco con un rendimiento de $0.3877\% \pm 0.1339$. Este rendimiento es muy acercado a lo reportado por Bouttier Figueroa (2011), siendo de éste de 0.319%. Es importante mencionar que el estado de madurez de los cladodios (edad), el clima de la zona de recolección, la variedad, el método de extracción, así como el solvente utilizado para la precipitación del mucílago pueden influir en la cantidad de mucílago extraído, lo que se refleja en los rendimientos obtenidos en otros trabajos (Arizmendi Coterio, 2004) (Sepúlveda y col., 2007: 534-545).

De acuerdo a los resultados de la tabla 2 el color del mucílago de nopal se ubica en el cuadrante II (-a*, +b*) de la gráfica de color, que es el cuadrante que va del color amarillo al verde, con una luminosidad que tiende al blanco dado que es de 89.58 y con una ángulo de tono h* de 100.51° que deja ver que el color es más cercano al color amarillo; mientras que el croma nos indica que una saturación alta.

Algunos autores han reportado color para el mucílago: L* de 86.6-88.9; b* de 6.6-8.0 y a* de -1.8 a -0.9 (Sepúlveda y col., 2007: 534-545). Abraján Villaseñor

(2008) encontró: L* de 61-87; a* de -0.7-3.0; b* de 10.6-18.9; h* de 78.3-93.8 y C* de 10.6-18.9.

Tabla 2. Valores medios y desviación estándar de las coordenadas y atributos de color del mucílago extraído

<i>Color del mucílago de nopal obtenido</i>				
L*	a*	b*	C*	h*
89.82	-1.62	8.54	8.70	100.74
89.65	-1.63	8.77	8.92	100.56
89.82	-1.55	8.49	8.63	100.37
89.80	-1.59	8.53	8.68	100.53
89.33	-1.61	8.73	8.88	100.43
89.08	-1.64	8.93	9.08	100.4
89.58±0.3101	-1.61±0.03	8.67±0.17	8.82±0.17	100.51±0.14

Caracterización de las películas comestibles: A continuación en la tabla 3 se muestra los valores p obtenidos de los factores (base de la película, cantidad de glicerol y concentración de extracto) sobre los parámetros evaluados (solubilidad, grosor, PVA, propiedades mecánicas y color) en la películas comestibles.

Tabla 3. Valor-p de los factores analizados en la elaboración de películas comestibles

<i>Valor-p</i>							
<i>Factores</i>	<i>Base de la película (A)</i>	<i>Cantidad de glicerol (B)</i>	<i>Concentración de extracto (C)</i>	<i>Interacción AB</i>	<i>Interacción AC</i>	<i>Interacción BC</i>	<i>Interacción ABC</i>
<i>Parámetros</i>							
Solubilidad	0.0000s	0.0000s	0.2254	0.0029s	0.4365	0.3928	0.6901
Grosor	0.0336s	0.0000s	0.0110s	0.5631	0.4681	0.8438	0.8293
PVAc	0.0024s	0.0413s	0.0148s	0.8102	0.2581	0.6314	0.5331
<i>Propiedades mecánicas:</i>							

Deformación	0.0003s	0.0000s	0.2993	0.3015	0.3625	0.0065s	0.9308
% Elongación	0.0964	0.0028s	0.5582	0.0775	0.3166	0.0620	0.3186
Módulo elástico	0.0136s	0.0000s	0.8268	0.0763	0.6334	0.7276	0.6523
Color:							
L*	0.0000s	0.2674	0.0000s	0.5817	0.1176	0.9644	0.4431
a*	0.0049s	0.1311	0.0003s	0.3860	0.6700	0.7193	0.2841
b*	0.0000s	0.6956	0.0000s	0.3331	0.0008s	0.9443	0.3841
h*	0.5299	0.0716	0.0005s	0.4104	0.3376	0.7206	0.1843
C*	0.0000s	0.6512	0.0000s	0.3374	0.0013s	0.9404	0.3903

$\alpha = 0.05\%$ (s) efecto significativo.

Solubilidad de las películas comestibles: La solubilidad en agua de una película es una propiedad que permite indicar su integridad en entornos muy húmedos o acuosos. La tabla 4, muestra el porcentaje de material soluble que presentaron las 18 películas comestibles investigadas. Se observa que entre mayor es el contenido de pectina cítrica mayor es la solubilidad de las películas, fenómeno que se presenta tanto para las películas que contienen el 2 % como el 5 % de glicerol; este fenómeno se debe a que la pectina es un material totalmente soluble en agua.

Tabla 4. Valores medios y desviación estándar de la solubilidad de las 18 formulaciones de películas comestibles

Formulación	Solubilidad (%)	Desviación estándar
100P-G2E0.25	92.58	1.29
100P-G2E0.50	90.54	3.84
100P-G2E1	92.70	0.16
75P/25N-G2E0.25	79.57	4.40
75P/25N-G2E0.50	83.07	2.99
75P/25N-G2E1	78.04	3.93
50P/50N-G2E0.25	73.60	4.04
50P/50N-G2E0.50	72.65	3.03
50P/50N-G2E1	68.99	3.04
100P-G5E0.25	96.47	1.26
100P-G5E0.50	94.21	2.26
100P-G5E1	95.51	2.73

75P/25N-G5E0.25	89.61	0.20
75P/25N-G5E0.50	87.26	2.40
75P/25N-G5E1	88.12	1.73
50P/50N-G5E0.25	85.40	0.12
50P/50N-G5E0.50	83.23	0.10
50P/50N-G5E1	82.54	1.25

Mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y extracto de semilla de toronja (E).

Por otro lado, se observa que entre mayor es la cantidad de mucílago de nopal usado para la formulación (por ejemplo, 50N) menor es la solubilidad de la película. Este fenómeno ocurrido se explica porque el mucílago de nopal tiene mayor cantidad de componentes no solubles en agua, como hemicelulosas (D-galactosa, L-ramnosa, L-arabinosa, D-xilosa y ácido urónico) (Julián Caballero, 2008) por tal motivo, las películas se disuelven menos. Además los plastificantes reducen las fuerzas intermoleculares entre las cadenas de polímero e incrementan el volumen libre, en consecuencia existe más espacio para que las moléculas de agua migren, asimismo plastificantes hidrofílicos como el glicerol son compatibles con el material polimérico que forma la película y aumenta la capacidad de sorción de moléculas polares tales como el agua (Bertuzzi y col., 2002). La solubilidad en agua de las películas es un factor importante para evaluar su degradabilidad debido a que a mayor solubilidad los polímeros son más susceptibles a la degradación.

El análisis estadístico para solubilidad muestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la cantidad de glicerol y la base de la película. La prueba de múltiple rangos para la solubilidad por base de película indica que existen tres grupos homogéneos formados por 50P/50N, 75P/50N y 100P. Con base en dicha prueba se recomienda aplicar películas formuladas con 50P/50N ya que es la que presenta menor solubilidad en agua (77.73 %).

La prueba de múltiple rangos para la solubilidad de las películas por cantidad de glicerol muestra que existen dos grupos homogéneos uno formado por 2 % y otro por 5 % de glicerol. Dado que se requiere de una solubilidad para la película baja para conservar frutos por más tiempo se recomienda aplicar películas con 2 % de glicerol esperando 81.30 % de material soluble.

Con base en los datos anteriores la película con mejor propiedad para la solubilidad al agua es la película 50P/50N-G2, pero aún así las 75P/25N-G2 (ya que el 2 % de

glicerol ayuda disminuir la solubilidad) también son buenas para retardar por más tiempo la pérdida de agua de los frutos y evitar que la película se vuelva pegajosa.

Espesor de las películas comestibles: La uniformidad de espesor de la película es importante, ya que funciona como la base para calcular las diversas propiedades de las películas como lo es la permeabilidad al vapor de agua. La nivelación de las parrillas de la estufa durante el secado de la película juega un papel muy importante en la uniformidad del espesor de las películas.

La tabla 5 muestra las medias obtenidas para el espesor de las películas.

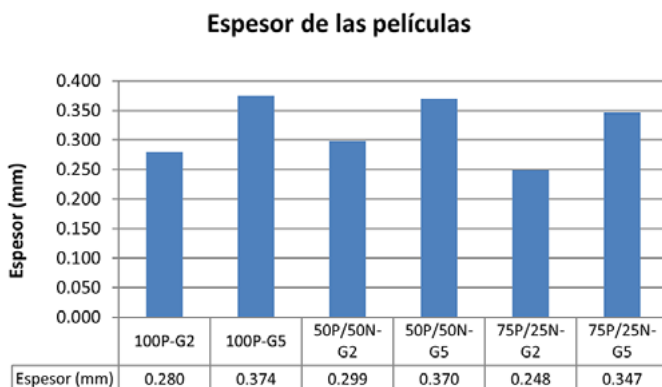
Tabla 5. Medias y desviación estándar del espesor de las películas

Formulación	Grosor (mm)	Desviación Estándar
100P-G2E0.25	0.251	0.01
100P-G2E0.50	0.259	0.02
100P-G2E1	0.330	0.02
75P/25N-G2E0.25	0.234	0.02
75P/25N-G2E0.50	0.254	0.02
75P/25N-G2E1	0.257	0.02
50P/50N-G2E0.25	0.285	0.05
50P/50N-G2E0.50	0.299	0.03
50P/50N-G2E1	0.312	0.03
100P-G5E0.25	0.339	0.04
100P-G5E0.50	0.369	0.002
100P-G5E1	0.416	0.02
75P/25N-G5E0.25	0.351	0.07
75P/25N-G5E0.50	0.323	0.03
75P/25N-G5E1	0.367	0.01
50P/50N-G5E0.25	0.360	0.005
50P/50N-G5E0.50	0.358	0.04
50P/50N-G5E1	0.393	0.05

Mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y extracto de semilla de toronja (E).

El análisis estadístico para el grosor de las películas demuestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la base de la película, la cantidad de glicerol y la concentración de extracto.

Figura 3. Grosor de las películas comestibles eliminando el efecto del extracto



Mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y glicerol (G)

Dado que un espesor grueso puede restringir el intercambio gaseoso durante el proceso de respiración de los tejidos de los frutos, pudiendo causar acumulación de altos niveles de etanol y por consecuencia causar el desarrollo de sabores desagradables; las películas con 75P/25N son las más propias para la aplicación a frutos, ya que presentan un grosor menor con respecto al resto de las películas. Las películas 75P/25N presentaron valores medios de grosor de 0.298 ± 0.056 mm.

En cuanto a la cantidad de glicerol, la prueba de múltiple rangos muestra que existen dos grupos homogéneos, uno formado por 2% y el otro por 5% de glicerol. Las películas que ayudan a reducir la permeabilidad al vapor de agua son las formuladas con 2% de glicerol, presentando valores medios de grosor de 0.276 ± 0.012 mm.

La prueba de múltiple rangos para determinar la concentración de extracto señala la existencia dos grupos homogéneos, uno formado por la concentración de extracto de 0.25 y 0.5%, y el otro por el 1% de extracto.

Permeabilidad al vapor de agua corregida de las películas comestibles: Los valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA) de los 18 recubrimientos formulados son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Espesor y permeabilidad al vapor de agua medida y corregida de las películas

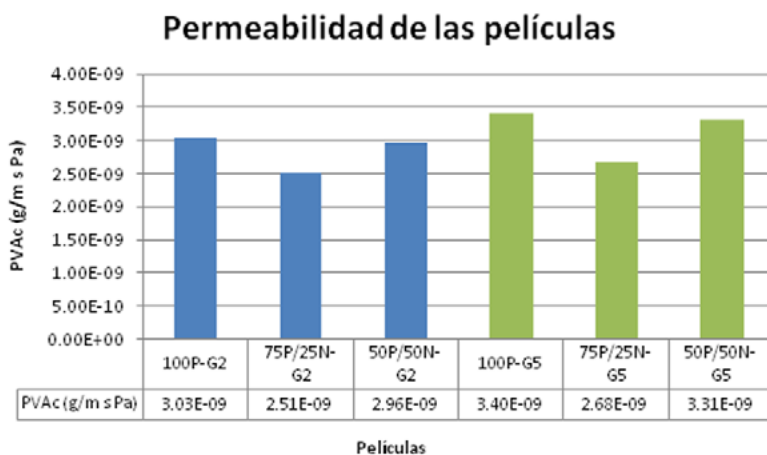
<i>Formulación</i>	<i>Grosor (mm)</i>	<i>PVA (g/m s Pa)</i>	<i>Desviación estándar de PVA</i>
100P-G2E0.25	0.251±0.01	2.64 x 10 ⁻⁹	9.04 x 10 ⁻¹¹
100P-G2E0.50	0.259±0.02	2.77 x 10 ⁻⁹	7.30 x 10 ⁻¹⁰
100P-G2E1	0.330±0.02	3.69 x 10 ⁻⁹	5.62 x 10 ⁻¹⁰
75P/25N-G2E0.25	0.234±0.02	2.38 x 10 ⁻⁹	1.39 x 10 ⁻¹⁰
75P/25N-G2E0.50	0.254±0.02	2.43 x 10 ⁻⁹	2.46 x 10 ⁻¹¹
75P/25N-G2E1	0.257±0.02	2.72 x 10 ⁻⁹	2.69 x 10 ⁻¹⁰
50P/50N-G2E0.25	0.285±0.05	3.16 x 10 ⁻⁹	6.25 x 10 ⁻¹⁰
50P/50N-G2E0.50	0.299±0.03	2.92 x 10 ⁻⁹	2.66 x 10 ⁻¹⁰
50P/50N-G2E1	0.312±0.03	2.81 x 10 ⁻⁹	5.48 x 10 ⁻¹⁰
100P-G5E0.25	0.339±0.04	3.25 x 10 ⁻⁹	3.40 x 10 ⁻¹⁰
100P-G5E0.50	0.369±0.02	3.07 x 10 ⁻⁹	4.22 x 10 ⁻¹¹
100P-G5E1	0.416±0.02	3.86 x 10 ⁻⁹	3.74 x 10 ⁻¹⁰
75P/25N-G5E0.25	0.351±0.07	2.84 x 10 ⁻⁹	5.32 x 10 ⁻¹⁰
75P/25N-G5E0.50	0.323±0.03	2.16 x 10 ⁻⁹	3.88 x 10 ⁻¹⁰
75P/25N-G5E1	0.367±0.01	3.04 x 10 ⁻⁹	9.91 x 10 ⁻¹¹
50P/50N-G5E0.25	0.360±0.005	3.16 x 10 ⁻⁹	2.18 x 10 ⁻¹⁰
50P/50N-G5E0.50	0.358±0.04	3.22 x 10 ⁻⁹	7.71 x 10 ⁻¹⁰
50P/50N-G5E1	0.393±0.05	3.54 x 10 ⁻⁹	6.32 x 10 ⁻¹⁰

Permeabilidad al vapor de agua (PVA), mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y extracto de semilla de toronja (E)

En la figura 4 se aprecia que las películas formuladas con 100P-5G tuvieron la PVA más alta siendo de 3.40×10^{-9} g/m s Pa, seguidas de las formuladas con 50P/50N-G5 con PVA de 3.31×10^{-9} g/m s Pa, películas 100P-G2 tuvieron una PVA 3.03×10^{-9} g/m s Pa, las de 50P/50N-G2 de 2.96×10^{-9} g/m s Pa, las películas 75P/25N-G5 de 2.68×10^{-9} g/m s Pa y que las películas que tuvieron la PVA menor fueron las 75P/25N-G2 con 2.51×10^{-9} g/m s Pa. Con anterior se demuestra que a mayor concentración de glicerol en las películas, mayor es el grosor de la película y por tanto, su permeabilidad aumenta; dado que al aumentar la

concentración de glicerol quedan más huecos o espacios libres entre la molécula que favorecen la migración de humedad. Las películas formuladas únicamente con pectina cítrica (100P), presentaron una permeabilidad al vapor de agua más alta ya que la pectina es un polisacárido soluble en agua. En cuanto a la mayor permeabilidad de las formulaciones 50P/50N que tiene mayor concentración de mucílago de nopal, con respecto a las de 75P/25N, Abraján Villaseñor (2008) así como Espino Días y col. (2010: 47-52) explican que este comportamiento puede deberse a que los polisacáridos y las proteínas del mucílago de nopal presentan permeabilidad al vapor de agua elevada, así como también puede ser que los componentes hidrofílicos se disuelvan con el vapor de agua y por eso eviten que pase el vapor.

Figura 4. Permeabilidad al vapor de agua de las películas.



Barras azules: películas con 2% de glicerol y barras verdes con 5%.

El análisis estadístico para la permeabilidad al vapor de agua demuestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la base de la película, la cantidad de glicerol y la concentración de extracto.

La prueba de múltiple rangos indica que existen dos grupos homogéneos, uno formado por las películas 75P/25N, y otro formado por 50P/50N y 100P. Con base

en dicha prueba y tomando en cuenta que se requiere de una permeabilidad al vapor de agua baja para crear una barrera al paso de las moléculas de vapor de agua y reducir con esto la pérdida de peso del limón (humedad) para retrasar su proceso de maduración se recomienda aplicar las películas formuladas con 75P/25N (2.595×10^{-9} g/m s Pa).

En cuanto a la cantidad de glicerol el análisis estadístico demuestra que para obtener películas con una permeabilidad al vapor de agua más baja se requiere usar la concentración de 2 % (PVA= 2.84×10^{-9} g/m s Pa).

El análisis estadístico señala que la concentración de extracto recomendada para obtener películas con PVA menor son 0.25 y 0.50 % ya que son estadísticamente iguales.

El estudio estadístico demostró que las películas comestibles con mejores barrera a la humedad son 75P/25N-G2E0.25 o la 75P/25N-G2E0.50.

Es importante señalar que la permeabilidad al vapor de agua de las películas comestibles está asociada con el grosor de las mismas. En el caso de las películas poliméricas ideales la PVA es totalmente independiente del grosor y esto es una propiedad del material; sin embargo, para el caso de películas comestibles se han reportado incrementos en los valores de PVA al aumentar el grosor de las películas hidrofílicas. McHung y col. (1993: 899-903) reportaron que la permeabilidad al vapor de agua aumentó con el grosor de las películas hidrofílicas formuladas con caseinato de sodio, atribuyendo a la humedad relativa como la causa principal de los efectos observados; ya que al a medida que el espesor de la película aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior de la película se incrementa (Bertuzzi M. y col., 2002).

Pruebas mecánicas: En la tabla 7 se muestran los valores de deformación (σ), porcentaje de elongación (ϵ) y módulo elástico (E) que mostraron las películas comestibles con sus respectivas desviaciones estándar.

Las películas tuvieron un comportamiento gobernado por la ley de *Hooke*, es decir, presentaron una zona de deformación reversible o elástica, seguida por una zona de alargamiento de la película en que la carga se mantiene constante, que es la zona de deformación irreversible o plástica, luego de la cual la película la ruptura (Villamán Diéguez, 2007).

Tabla 7. Propiedades de mecánicas de las películas comestibles

Formulación	σ (Mpa)	ϵ (%)	E (Mpa)
100P-G2E0.25	1.75±0.64	48.77±2.58	4.22±2.43
100P-G2E0.50	2.64±0.41	49.57±2.43	5.02±0.23
100P-G2E1	2.79±0.14	57.35±1.58	4.83±0.08
75P/25N-G2E0.25	1.75±0.99	36.92±18.91	6.18±1.96
75P/25N-G2E0.50	2.80±0.07	61.04±8.32	5.36±0.71
75P/25N-G2E1	2.59±0.56	52.44±0.97	5.39±0.86
50P/50N-G2E0.25	1.66±0.02	40.01±3.00	4.20±0.20
50P/50N-G2E0.50	1.96±0.24	52.52±23.15	4.22±0.86
50P/50N-G2E1	1.98±0.17	55.98±2.29	3.56±0.22
100P-G5E0.25	2.02±0.46	67.80±2.92	3.13±0.78
100P-G5E0.50	1.76±0.18	57.40±3.39	2.69±0.14
100P-G5E1	1.60±0.17	46.80±6.14	3.76±0.96
75P/25N-G5E0.25	1.60±0.71	83.67±4.61	2.06±1.21
75P/25N-G5E0.50	1.84±0.30	69.96±15.31	2.49±0.11
75P/25N-G5E1	1.40±0.03	68.65±22.94	2.22±1.11
50P/50N-G5E0.25	1.14±0.00	46.89±0.00	2.49±0.00
50P/50N-G5E0.50	0.47±0.06	61.30±10.56	1.16±0.11
50P/50N-G5E1	0.65±0.18	60.35±3.74	1.34±0.45

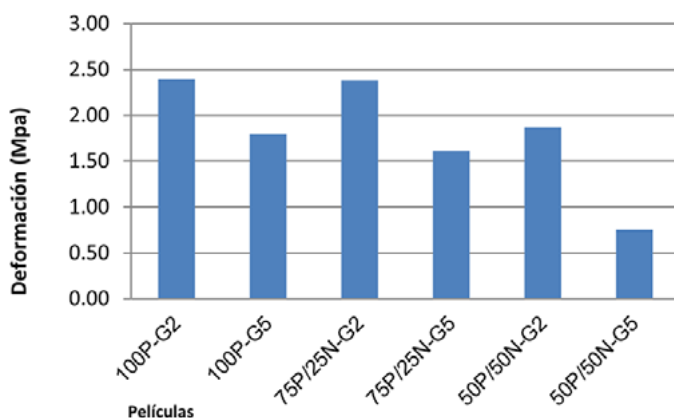
Deformación (σ), porcentaje de elongación (ϵ) y módulo elástico (E), mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y extracto de semilla de toronja (E).

En la figura 5 se muestran gráficos comparativos, donde se pueden apreciar más claramente las diferencias entre los parámetros que determinan la propiedad mecánica de las películas. Las películas que presentaron menor deformación fueron las formuladas con 50P/50N (0.75 MPa) y las que mayor deformación presentaron fueron las de 100P-G2 (2.40 MPa). En cuanto al porcentaje de elongación las películas 75P/25N-G5 (74.09 %) tuvieron el mayor porcentaje y las películas con 50P/50N-G2 (49.51 %) tuvieron el menor porcentaje. El módulo elástico que presentaron las películas 75P/25N-G2 (5.64 MPa) fue el mayor de la prueba y las películas 50P/50N-G5 (1.67 MPa) obtuvieron el menor.

El análisis estadístico para las propiedades mecánicas demuestra que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la base de la película y la cantidad de glicerol. Las películas con 50P/50N son las que presentaron menor deformación durante la prueba; mientras que la de 75P/25N y 100P (estadísticamente iguales) tuvieron mayor deformación. Este fenómeno puede atribuirse a que los componentes del mucílago de nopal generan que la película sea más quebradiza, tal como lo afirma Abraján Villaseñor (2008) para películas elaboradas de solo mucílago de nopal.

En lo referente a cantidad de glicerol las películas de 5 % de glicerol mostraron menos deformación comparado con las de 2 %.

Figura 5. Propiedades mecánicas de las películas: a) deformación

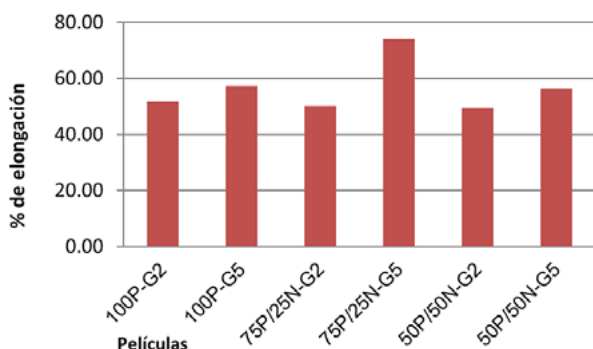


El porcentaje de elongación depende de cantidad de glicerol aplicada a la película comestible, siendo que las películas que contienen mayor concentración de glicerol como son las de 5 % tuvieron una elongación de hasta el 62.53 %, mientras que las que contenían sólo 2 % presentaron elongación de hasta el 50.51 %. Con esto queda claro que la adición de plastificantes a las películas mejora flexibilidad y elongación de las mismas, este fenómeno mejora aún más al incrementar la concentración del glicerol.

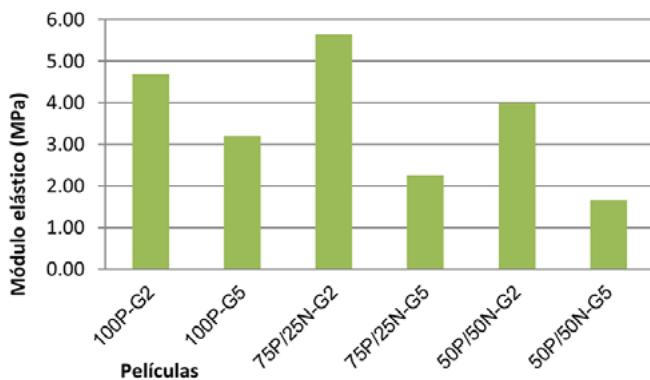
El módulo elástico está determinado por la base de la película y por la cantidad de glicerol añadida. Para el caso de las películas con 100P y 75P/25N (estadísticamente iguales) se obtuvo un módulo elástico mayor, de 3.94 MPa, mientras que

para el caso de las películas con 50P/50N se tuvo uno de 2.83 MPa. Las películas con 2 % de glicerol mostraron un módulo elástico mayor que las de 5 %.

b) Porcentaje de elongación



c) Módulo elástico



Algunos valores de las propiedades mecánicas para películas elaborados a base de pectina son: σ de 2 a 7.5 MPa, E de 127 a 323 MPa y % ϵ de 4 a 14 % (Maftoonazad, y col., 2007^a: 539-563). Por su parte Abraján Villaseñor (2008) reportó σ de 0.52-2.01 MPa, E de 62.12-360 MPa y un porcentaje de elongación de 0.53-7.12 % para películas de mucílago con 0.52 de Aw.

Color de las películas comestibles: La tabla 8 muestra las propiedades del color de las películas luminisidad (L^*), las coordenadas a^* , b^* , el ángulo de tono o giro (h°) y el croma (C^*). De acuerdo a estos resultados las películas comestibles se ubicaron en el cuadrante 1 ($+a^*$, $+b^*$) de la gráfica de color, que es el cuadrante que va del color rojo al amarillo, una luminisidad que tiende claridad o palidez (valores alrededor de 80), mientras un ángulo de giro hue también estuvo alrededor de 82° que tiende a caer en el área amarilla lo que puede deberse a la adición que el aceite de oliva (Abraján Villaseñor, 2008) y del extracto de semilla de toronja. Las películas presentaran un croma saturado, lo que puede explicarse porque los enlaces moleculares están muy fuertemente unidos y por lo tanto dan un color más oscuro (Espino-Díaz y col., 2010: 47-52).

Tabla 8. Parámetros de color para las películas comestibles

Formulación	Color				
	L^*	a^*	b^*	c^*	h°
100P-G2E0.25	87.08	1.06	11.58	11.63	84.73
100P-G2E0.50	84.52	1.46	15.18	15.25	84.50
100P-G2E1	78.41	3.03	22.81	23.01	82.48
100P-G5E0.25	87.26	0.95	11.06	11.10	85.06
100P-G5E0.50	85.09	1.24	15.37	15.42	85.36
100P-G5E1	79.23	2.60	22.98	23.13	83.56
75P/25N-G2E0.25	80.32	0.86	20.54	20.56	87.66
75P/25N-G2E0.50	74.39	2.99	27.16	27.33	83.72
75P/25N-G2E1	71.59	3.75	28.83	29.09	82.80
75P/25N-G5E0.25	78.48	1.32	23.29	23.33	86.86
75P/25N-G5E0.50	75.30	2.51	26.67	26.79	84.65
75P/25N-G5E1	72.76	3.43	28.92	29.13	83.33
50P/50N-G2E0.25	68.43	3.86	31.34	31.60	83.17
50P/50N-G2E0.50	69.74	3.29	30.17	30.37	83.89
50P/50N-G2E1	67.33	4.11	32.36	32.62	82.80
50P/50N-G5E0.25	73.20	0.93	27.67	27.69	88.10
50P/50N-G5E0.50	69.94	3.02	30.51	30.66	84.39
50P/50N-G5E1	67.94	3.94	31.37	31.62	82.86

Mucílago de nopal (N), pectina cítrica (P) y extracto de semilla de toronja (E)

El análisis estadístico para los parámetros de color L^* , a^* , b^* , h^* y C^* muestra que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la base de la película y la cantidad de glicerol. Para el caso de la base de la película existen tres grupos homogéneos 100P, 75P/25N y 50P/50N. De igual modo existen tres grupos homogéneos de acuerdo a la concentración de extracto añadido que son las tres concentraciones evaluadas (0.25, 0.5, 1.0 %). La coordenada de color a^* , el único parámetro para el que se formaron dos grupos homogéneos respecto a la base de la película; formados uno por 100P y 75P/25N, y el otro por 75P/25N y 50P/50N.

Las películas más luminosas fueron las fórmulas con 100P ($L^* = 83.60$) y las menos luminosas las de 50P/50N ($L^* = 69.43$). Con esto se tiene que a mayor concentración de mucílago de nopal las películas se tornan más oscuras. Lo mismo sucede con el extracto, a mayor concentración mayor luminosidad y viceversa.

Las películas con 50P/50N tuvieron más tendencia hacia los tonos rojos ($+a^*$), esto pudiera deberse a una posible reacción de oxidación del aceite de oliva al contacto con mucílago de nopal ocurrida con el paso tiempo que genera que la coloración rojiza. Sin embargo es necesario realizar más estudios al respecto. Las películas menos amarillas fueron las 100P (b^* de 16.50) y las más amarillas las formuladas con 50P/50N (b^* de 30.57).

Abraján Villaseñor (2008) por su parte reporta valores de L^* de 62-69.4; de a^* de 2.5-16.8; b^* de 16.5-37.2; de C^* 16.7-40.7; h^* de 64.8-80.7 para películas de mucílago de nopal con ácidos grasos, y a un HR 52 %. Mientras Bouttier Figueroa (2011) reporta valores de L^* de 54.13- 77.91; h^* de 87.10-89.66 y C^* de 19.52 a 28.33, para películas comestibles hechas de mucílago de nopal y aloe vera. Observándose que las películas elaboradas para esta investigación son más luminosas y de color menos intenso o fuerte.

Conclusiones

- 1) El mucílago de nopal extraído fue un polvo blanco con valores en los parámetros L^* de 89.58, a^* de -1.61, b^* de 8.67, C^* de 8.82 y h^* de 100.51°; ubicados en el cuadrante II ($-a^*$, $+b^*$) del espacio de color que va de amarillo a verde. El rendimiento de la extracción de mucílago de nopal fue de 0.39 %.
- 2) La cantidad de glicerol y la base de la película influyen en la solubilidad de las películas comestibles. Las películas formuladas con únicamente con pectina (100P) presentaron solubilidades mayor, y las que tuvieron menor

- solubilidad fueron las formuladas con 50P/50N. Por tanto, la solubilidad disminuye al incrementar la concentración de mucílago de nopal.
- 3) Las películas con 5 % de glicerol presentaron mayor solubilidad al agua y mayor grosor que las formuladas con 2 %, por lo tanto solubilidad y grosor de las películas incrementa al aumentar la concentración de glicerol.
 - 4) La permeabilidad al vapor de agua está determinada por la base de la película, la cantidad de glicerol y la concentración de extracto. Las películas formuladas con 75P/25N presentaron menor permeabilidad con respecto a las formuladas con 50P/50N o 100P (estadísticamente iguales), la concentración de 2 % de glicerol generó películas con menor permeabilidad al agua que las de 5 % de glicerol, la concentración de 0.5 y 0.25 % de extracto favorecieron la permeabilidad al vapor de agua.
 - 5) La deformación de las películas se ve influenciado por la base de la película y la cantidad de glicerol, siendo las formuladas con 50P/50N las que presentaron menor deformación (1.31MPa), así como las películas elaboradas con 5 % de glicerol (1.38MPa), por lo tanto al incrementar la concentración de glicerol la deformación de las películas es menor.
 - 6) El porcentaje de elongación de las películas se ve mejorado al incrementar la cantidad de glicerol. Las películas con 5 % de glicerol fueron más elásticas y flexibles obteniendo un % de elongación de 62.53 %, con respecto a las elaboradas con 2 % de glicerol que consiguieron el 50.51 % de elongación.
 - 7) El módulo elástico de las películas depende de la base de película y de la cantidad de glicerol en la formulación, presentando así mejor módulo las películas elaboradas con 50P/50N (2.82MPa), así como las elaboradas con una concentración de 5 % de glicerol (2.37MPa).
 - 8) El color de las películas comestibles se ubicó el cuadrante I (+a*,+b*) de la gráfica de color, que es el cuadrante que va del color rojo al amarillo, la luminosidad de éstas fue con tendencia a la claridad o palidez. Las películas más luminosas fueron las formuladas con 100P ($L^*=83.60$) y las menos luminosas las de 50P/50N ($L^*=69.43$), por lo tanto, la luminosidad de las películas disminuye al incrementar la concentración de mucílago de nopal y extracto de semilla de toronja en la formulación.
 - 9) La película con mejores propiedades para ser aplicada para la conservación de alimentos es 75P/25N-G2.

Bibliografía

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (Opuntia ficus-indica) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible*. Valencia : Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Tecnología de Alimentos.
- Arizmendi Cotero, D. (2004). *Optimización de dos compuestos plastificantes (glicerol y polietilenglicol) en la elaboración de una película plástica comestible obtenida a partir de mucílago de nopal de la especie Opuntia tomentosa Salm-Dyck*. Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Investigación de la Universidad Autónoma de México.
- Badui Dergal, S. (1999). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- Banker, G. (1966). Film coating theory and practice. *J of Pharm. Sci.* 55-81.
- Bertuzzi, M. A., Armada, M., Gottifredi, J. C., Aparicio, A. R., & Jimenez, P. (2002). Estudio de la permeabilidad al vapor de agua. *Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA 2002. Sección: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología*.
- Bósquez Molina, E. (2003). *Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (Citrus latifolia Tanaka)*. México. D.F.: Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bósquez Molina, E. (2003). *Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (Citrus latifolia Tanaka)*. México D.F.: Tesis doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Bosquez, M., Vernon, E., Pérez, L., & Guerrero, L. (2000). Películas y cubiertas comestibles para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria*. 22(1), 14-36.
- Bosquez, M., Vernon, E., Pérez, L., & Guerrero, L. (2000). Películas y cubiertas comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas. *Industria Alimentaria* 22(1), 14-36.
- Bourtoom, T. (2008b). Review: Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal* vol. 15(3), 237-248.
- Bouttier Figueroa, D. C. (2011). *Evaluación de Películas Comestibles a Partir de Mucílago de Nopal (Opuntia ficus-indica) y Gel de Sábila (Aloe vera) Sobre la Calidad y Vida de Anaquel del Queso Adobera*. Guadalajara, Jal.: Universidad de Guadalajara. Tesis de obtención de grado de Maestro.
- Del Valle, V., & Col. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (opuntia ficus indica) and its application to extend strawberry (fragaria ananassa) shelf-life. *Food chemistry*, (91): 751-756.
- Díaz Sobac, R., Garcia, H., Beristain, C., & Vernon Carter, E. (2002). Morphology and Water Vapor Permeability of Emulsion Films Based on Mesquite Gum. *J.Food Process. Preserv.* 26, 129-141.
- Durango, A. M., Soares, N. d., & Arteaga, M. R. (2011). EDIBLE FILMS AND COATINGS AS BIODEGRADABLE ACTIVE PACKAGING IN THE PRESERVATION OF FOOD PRODUCTS. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. vol 9 No.1, 122-128.
- Espino Díaz, M., Ornelas Paz, J. d., Martínez Téllez, M. A., Santillán, C., & Barbosa Cánovas, G. V. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of Opuntia ficus-indica (L.). *Journal of Food Science*. vol. 75, Nr. 6, 47-52.
- Gennadios, A., Bradenburg, A. H., Park, J. W., Weller, C. L., & Testin, R. (1994 a). Water vapor permeability of wheat gluten and soy protein isolate films. *Industrial Crops and Products* 2, 189-195.
- Gennadios, A., Weller, C. L., & Gooding, C. H. (1994b). Measurements errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal of Food Engineer*, (21), 395-409.

- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. L., & Guilvert, S. (1994). Edible composite films of wheat films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. . *International Journal of Food Science and Technology*, (2), 39-50.
- Grunauer E., C., & Cornejo Z, F. (2009). Influencia del secado sobre la captación de agua de pectina extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle. *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. xx, N. xx, pp-pp.
- Guilbert, S. (1986). Technology and application of edible protective film. *Food packing and preservation*, 371-394.
- Julián Caballero, F. (2008). *Secado, absorción de agua y difusión de cloruros en concreto conteniendo extracto de nopal*. Oaxaca, Mex.: Instituto Politécnico Nacional. Tesis de maestría.
- Kester, JJ., & Fennema, OR. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technol* 40(12), 47-59.
- Kester, JJ., & Fennema, OR. (1989). Resistance of lipid films to water transmission. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* Vol 66, 1139-1146.
- Krochta, JM., & De Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymerfilms: challenges and opportunities. *Food Technol* 51(2), 61-74.
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. vol. 6, 60-75.
- Liu, L., Liu, C., Marshall, L., & Hicks, K. (2007a). Composite films from pectin and fish skin gelatin or soybean flour protein. . *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 2340-2355.
- Maftoonazad, N., Hosahalli, S., & Marcotte, M. (2007a.). Evaluation of factors affecting barrier, mechanical, and optical properties of pectine-based films using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 30, 539-563.
- McHugh, T., & Krochta, J. (1994b). Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. *J Am Oil Chem Soc* 71, 307-312.
- McHugh, T., Avena Bustillos, R., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J Food Sci* 58(4), 899-903.
- Sáez, C., Sepúlveda, E., & Matsuhuro, B. (2004). Opuntia spp mucilage's: a functional component whit industrial perspectives. . *Journal of Arid Environments* 57 , 275-290.
- Sánchez Aldana-Villaruel, D., Aguilar González, C. N., Contreras Esquivel, J. C., & Nevárez Moori-llón, G. V. (2011). Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque. *Tecnociencia Chihuahua Vol.2*, 76-82.
- Sepulveda, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in Opuntia spp. *Journal of Arid Enviroments* (68), 534-545.
- Villamán Diéguez, M. (2007). *Elaboración y caracterización de films comestibles basadas en mezclas entre proteínas de quínoa y quitosano*. Santiago-Chile: Universidad de Chile.
- Zamudio Flores, P. B. (2005). Elaboración de películas degradables de almidón de plátano: evaluación de sus propiedades mecánicas y de barrera. *Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos*. Tesis de maestría.

Evaluación paleolimnológica del lago de Chapala (occidente de México) durante los últimos 10 000 años. Exposición preliminar

PEDRO F ZÁRATE DEL VALLE,¹ MARK BRENNER,²
ULISES RAMÍREZ-SÁNCHEZ,³ JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI,⁴
SERGIO GÓMEZ-SALAZAR,⁵ ISRAEL CEJA ANDRADE,⁶
ROY PRIYADARSI DEBAJYOTI⁷

Resumen

La finalidad de este análisis preliminar sobre la paleolimnología del Lago de Chapala, consiste en exponer las estrategias de trabajo para evaluar los cambios paleolimnológicos registrados en el sedimento del Lago de Chapala, el cual por ser el lago más grande de México, es considerado como referencia geolimnológica y paleoambiental en el occidente de México. La hipótesis de trabajo que se maneja es que los cambios paleolimnológicos han sido ocasionados, en el pasado reciente de los últimos 10 000 años (*cf.* Holoceno), fundamentalmente por las variaciones climáticas y que dichas variaciones han quedado registradas en la columna sedimentaria del Lago de Chapala. Las técnicas de trabajo para identificarlas incluirán dataciones ra-

-
- [1] Departamento de Química. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. CP 44430. México.
 - [2] Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Florida, Gainesville, Florida 32611, EUA.
 - [3] Departamento de Física. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. CP 44430. México.
 - [4] Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. CP 04510. México.
 - [5] Departamento de Ing. Química. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. CP 44430. México.
 - [6] Departamento de Física. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. CP 44430. México.
 - [7] Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. CP 04510. México.

diométricas (^{14}C , ^{210}Pb), *proxies* climáticos geoquímicos y micropaleontológicos. Los objetivos y metas planteados incluyen resultados como la generación de conocimiento científico básico geolimnológico y paleoambiental. El tema de investigación es congruente con programas ambientales globales tales como PAGES y CLIVAR.

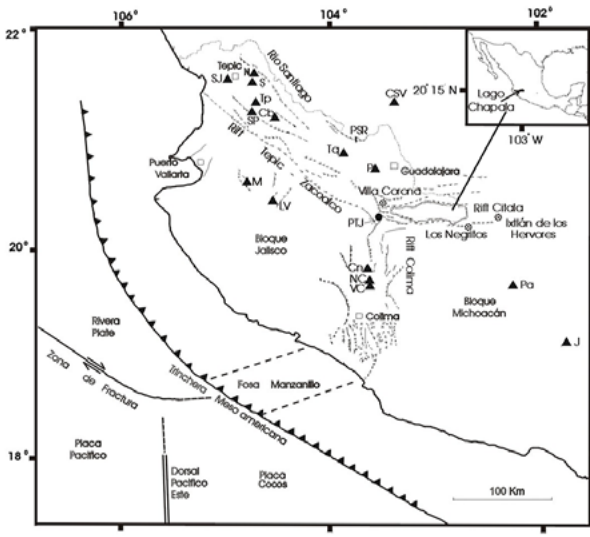
Antecedentes

En México, los estudios paleoecológicos y paleoclimáticos se han enfocado, sobre todo, en las porciones centro-occidental, oriental y sur del país, por medio de los cuales ha sido posible evidenciar la alternancia de periodos de humedad y de sequía (Monzón Mexicano, El Niño), periodos cálidos (por ejemplo Periodo Cálido Medieval) y fríos (Pequeña Edad del Hielo) así como la extensión y reducción de paleolagos, por ejemplo, el paleolago de Jalisco (Metcalfe *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2002, 2003, 2004; Ortega *et al.*, 2006; Rosas y Urrutia, 1998; Mateos M. *et al.*, 2002).

Reflejo del interés científico internacional sobre el calentamiento de la Tierra y la paleoecología son los programas globales como: PAGES (Past Global Changes) del *International Geosphere-Biosphere Programme* de Suiza (IGBP, 2005); CLIVAR (Climate Variability. and Predictability) del *World Climate Research Programme* de la UNESCO (CLIVAR, 2006); PMIP2 (*Paleoclimate Modelling Intercomparison Project, phase II*) del *Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement* de Francia (LSCE-CEA, 2006). Un rasgo natural característico del occidente de México lo constituye la presencia de la extensa cadena volcánica cenozoica que recorre a México en su porción central de Este a Oeste: La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) constituida principalmente por lavas andesíticas calcalcalinas. En el extremo occidental de la FVT está definido un bloque continental llamado Bloque Jalisco (BJ; Mosser 1972; Ferrari *et al.*, 1997; Zárata-del Valle *et al.*, 2001), cuyos límites norte y este consisten de *rifts* continentales asimétricos constituidos por bloques basculados con saltos de falla entre 800 y 1 000 m (Barrier *et al.*, 1990): al Norte el *Rift Tepic-Zacoalco* (orientado NW-SE); al Este el *Rift Colima* (de orientación N-S). Estos *rifts* se unen al *Rift Citala* de orientación E-W, donde se ubica el Lago de Chapala, conformando lo que se conoce (fig. 1) como Punto Triple de Jalisco (PTJ; Luhr *et al.*, 1985) el cual se caracteriza en particular por su actividad geotérmica como lo es la presencia de petróleo hidrotermal en el piso del lago cuya edad por ^{14}C es $>40\,000\text{yr}$ (Zárata-del Valle y Simoneit, 2005b; Zárata-del Valle *et al.*, 2011). La presencia del Complejo Colima en el *Rift Colima* (fig. 1) es de interés particular

en este proyecto ya que el Volcán de Fuego (o Colima) es el volcán más activo de México para el cual se han establecido cuatro ciclos históricos de actividad: 1560, 1690-1749, 1818-1869, 1913-1961 (Luhr & Carmichael, 1990). En particular hay horizontes con ceniza volcánica en la columna sedimentaria del Lago de Chapala que genéticamente se ligan a los ciclos eruptivos 2 y 3 por los altos valores de susceptibilidad magnética ($>2000 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) así como por su peculiar mineralogía (titanomagnetita, pirita y plagioclasas; Michaud *et al.*, 2006).

Fig. 1. Marco geodinámico del occidente de México y localización del lago de Chapala



Según Allan *et al.*, 1991; mod. y actualizado. Las fallas normales se muestran por líneas con achurado en el bloque hundido. Los cuadros sin rellenar se refieren a ciudades; Los triángulos negros se refieren a las siguientes estructuras volcánicas: SJ= San Juan; N= Navajas; S= Sanganguey; Tp= Tepetitlic; SP= San Pedro; Cb= Ceboruco; Tq= Tequila; P= Caldera La Primavera; Cn= Cántaro; NC= Nevado de Colima; VC= Volcán Colima; M= Campo volcánico Mascota; LV= Campo volcánico Los Volcanes; Pa= Parícutín; J= Jorullo y CSV= Cerro San Vicente. PRS= Presa Santa Rosa. PTJ= Unión Continental Triple de Jalisco señalado por un círculo negro. Las rosetas se refieren a sitios geotérmicos.

Paleohidrología

El Lago de Chapala (E-W 80 km x N-S 15 km) pertenece a la cuenca hidrológica Lerma-Chapala (Aparicio, 2001). El actual lago de Chapala es el remanente de una cuenca continental más grande ligada a la formación y a la organización del PTJ que debuta (Barrier *et al.*, 1990;) en el Plio-Pleistoceno (~1.8 Ma) cuando inicia la formación del «Proto Jalisco Lake» de Rosas y Urrutia-Fucugauchi (1998), lago que se emplazó en estructuras de extensión más antiguas del Mio-Plioceno (~5.3 Ma) (Barrier *et al.*, *op. cit.*). Desde el Pleistoceno (<1.8 Ma) el Lago Chapala ha mostrado una morfometría *a grosso modo* similar a la actual (Rosas y Urrutia-Fucugauchi, *op. cit.*) por lo que es uno de los lagos más antiguos de Norte América (Lind y Dávalos-Lind, 2001). Según Zárate del Valle & de Anda (2000), desde 1579 el Lago Chapala ha sufrido modificaciones morfométricas tanto en su batimetría, como en sus islas y el desarrollo de su línea costera. Estos autores denominaron Isla Paxacuaran al volcán Pajacuarán que en el siglo XVI estaba rodeado completamente por el agua del lago (fig. 2).

Fig. 2 Paleo-isla de Pajacuarán en 1579



Fuente: INEGI-INAH, 1988. Modif.

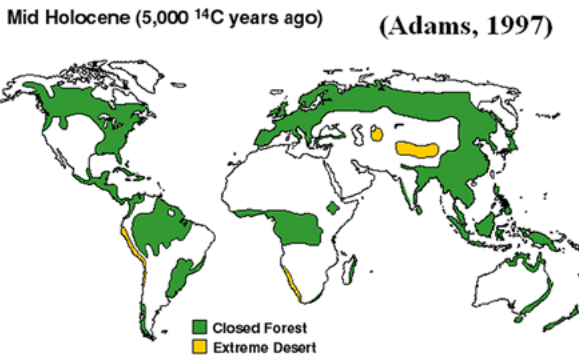
En 1889 existían dos humedales (*wetlands*): Qumuato y Duaracha (cota máxima 1521 metros sobre el nivel del mar (msnm) que al inicio del siglo XX (1905-1910) desaparecieron al construir el gobierno federal el dique de Maltaraña, ocupando su lugar la zona agrícola «La Ciénega» (1524 msnm). Con esta modificación en su cota media (de Anda *et al.*, 1998), el lago se acorta en su extensión (~50 000 hectáreas) pero aumenta su capacidad de almacenamiento al pasar de 4 667-5 800 Mm³ a 7 962-8 000 Mm³ (CEA, 2010). El Lago ha sufrido TRES sequías históricas extremas: 1897, 1955, 2002 así como inundaciones excepcionales: 1926, 1946, 1973, 1975 (Sandoval, 1994; CEA, 2010). Desde hace 200 años la cuenca Lerma-Chapala, incluido el Lago de Chapala, ha estado sujeta a una sobreexplotación por parte de las autoridades mexicanas (Wester, 2009). La precipitación en la región del lago Chapala está afectada por factores primarios como lo es la alternancia lluvia-estiaje debida a las variaciones en la actividad solar con periodos de 11, 22 y 45 años y por fluctuaciones menores de 2 a 7 años debidas a la influencia del fenómeno de «El Niño» (ENSO; Filonov, 2002). El periodo de lluvia en Jalisco ocurre de junio a octubre y el de estiaje de noviembre a mayo con lluvias escasas en diciembre y enero, con una precipitación media anual de 800 mm (Aparicio, 2001).

Hipótesis

Los lagos son ecosistemas sensibles a los cambios en el balance precipitación-evaporación tanto en la cuenca como en el lago mismo (Bradley, 1999; Israde-Alcántara, 1999b), cuyas causas pueden ser naturales, por ejemplo, la variabilidad climática por lo que se manifiestan en altibajos en el volumen de almacenamiento expresado como modificaciones tanto en área como en profundidad o nivel de los mismos (Zárate-del Valle y de Anda, 2000c). Estos cambios naturales a escala regional y global están ligados a las variaciones u oscilaciones climáticas ocurridas durante el Holoceno (*Little Ice Age*, *Warm Medieval Period*; Bradley, 1999; Ortega *et al.*, 2002) así como a los fenómenos locales como son: tectonismo y vulcanismo (Istrade-Alcántara 1999b; Ferrari, 2009), presencia de culturas precolombinas prehispánicas (Isla de Los Alacranes o *Xapawiyeme* en la cultura wirrárika o huichol (CDI, 2010; Mata Torres, 1970), urbanización (Isla Mezcala; Navarro-Sánchez, 1999; L Pátzcuaro, Fisher 2007), sobre-explotación (Wester, 2009), etcétera. Estos cambios, en su conjunto, afectan las condiciones físico-químicas y biológicas del ecosistema (Smol, 2008) las cuales quedan registradas en los componentes de la columna sedi-

mentaria (Engstrom y Wright, 1984). Estos componentes orgánicos (microfósiles, % carbono orgánico, etcétera) e inorgánicos (radioisótopos, geoquímica, % carbono inorgánico, mineralogía, propiedades magnéticas, etcétera) pueden ser utilizados como proxies climáticos que al interpretarlos en su conjunto nos revelarán las variaciones en la precipitación, evaporación, sequía, lluvia, etcétera (Beierle y Smith 1998; Israde-Alcántara 1999a; Castiglia y Fawcett, 2010; Mensing, 2001), con lo que se reconstruirán las condiciones paleolimnológicas del lago durante el Holoceno que serán comparadas con las reportadas en la literatura internacional: El *Global Atlas of Palaeovegetation since the Last Glacial Maximum* (Adams, 1997); la *Limnologic history of Lago de Pátzcuaro* (Bradbury, 2000); los patrones de clima del Holoceno en América (Fritz *et al.*, 2001); Variabilidad climática en los dos últimos milenios registrada en la Laguna de Juanacatlán, Jalisco, (Metcalf, 2010); Duración y frecuencia de la sequía en la Franja del Maíz: 992-2004 AD (Stambaugh *et al.*, 2011).

Fig. 3. Paleovegetación y desiertos globales desde el último periodo interglacial



Fuente: Adams, 1977.

Objetivo general

- Determinar y evaluar los cambios paleolimnológicos (precipitación/evaporación; frío/calor) registrados en el sedimento del Lago de Chapala (Jalisco) durante los últimos 10 000 años (Holoceno).

Objetivos particulares

- Alcanzar por primera vez la base del Holoceno (10 000 años) en el Lago de Chapala
- identificar la época en que ocurren las fases áridas y húmedas en la columna sedimentaria del lago de Chapala e identificar las causas a partir de indicadores climáticos geoquímicos o *proxies*.
- Posicionar en el pasado reciente el momento en que el petróleo hidrotermal datado de >40 000 yr BP (Zárate-del Valle y Simoneit, 2005a) fue inyectado por fallas y fracturas hasta aflorar en el fondo del lago.
- Describir las variaciones paleoclimáticas del occidente del país en los últimos 10 000 años BP en base a los cambios paleolimnológicos registrados en el Lago de Chapala y a la literatura publicada.

Metas científicas

- Generar conocimiento científico básico sobre la variabilidad paleolimnológica registrada en el Lago de Chapala en los últimos 10 000 años (Holoceno).
- Definir la influencia de la presencia de petróleo hidrotermal (>40 000 yr) en la datación por ¹⁴C del sedimento del Lago de Chapala.
- Obtener dataciones radiométricas (¹⁴C, ²¹⁰Pb) para calibrar la columna sedimentaria de 35-40 m (barreno largo en el depocentro) y así ubicar en el tiempo los fenómenos climáticos durante el Holoceno (*cfr.*, ciclos sequía-lluvia).
- Determinar en forma sistemática, a lo largo de los 35-40 m del barreno, los parámetros básicos: palinología, micropaleontología (diatomeas), sedimentología, índices geoquímicos, contenidos de Carbono Total (TC) = Carbono orgánico total (TOC) + Carbono Inorgánico total (TIC) etcétera, que serán utilizados como *proxies* climáticos para identificar las variaciones paleolimnológicas ocurridas en el occidente de México.
- Confirmar, modificar o desechar la hipótesis: «Las inversiones de edad por ¹⁴C son resultado de mezcla de la columna sedimentaria presumiblemente por actividad paleosísmica» (Garduño-Monroy *et al*, 2003, 2004).

Metodología científica

La investigación deberá desarrollarse con trabajos de campo y laboratorio.

Etapas de campo

Perforación del núcleo largo: El sitio de perforación debe de cubrir dos requisitos: 1) Que no haya sufrido los efectos de reducción del espejo de agua (~ 40-50 %) debido a los años extremos de sequía característicos (Sandoval, 1994; CEA, 2009) del lago: 1897, 1955, 2002, durante los cuales el espejo de agua se aleja de la línea de costa varios kilómetros; 2) que la columna sedimentaria tenga su grosor mayor lo cual ocurre en el depocentro (Schlumberger, 2008; Neuendorf *et al.*, 2005). En base al estudio del subsuelo del graben de Chapala mediante perfiles magnéticos desarrollado por Alatorre-Zamora *et al.* (2007) según el perfil magnetométrico norte-sur (103° 02'W) «Mezcala-Tizapán El Alto», el depocentro es un sector de ~10km x ~5km, localizado a 8 km al sur de la Isla de Mezcala (fig. 4, 5). Preferentemente se barrenará en la época de estiaje para evitar retrasos y contratiempos por la época de lluvias. La longitud programada de este barreno, con recuperación de núcleo, es de 35-40 m. Se realizará con máquina nucleadora de pistón tipo Usinger (80 y 55 mm Ø) con recuperación continua de muestras de sedimento inalteradas.

Perforación de núcleos cortos. Se barrenarán en total DOS barrenos de ~12-15 m cada uno (fig. 4). El *primer barreno* se aplicará en la localidad: «isletas de Petróleo». Cuyo objetivo es obtener información del subsuelo para datar por ^{14}C el emplazamiento del petróleo hidrotermal (>40 000 yr BP) que dio origen a las isletas de petróleo hidrotermal (Zárate-del Valle y Simoneit, 2005a). El *segundo barreno* se aplicará en el sitio T46 (fig. 4) ya que por trabajos anteriores las inversiones de edad por ^{14}C no se justifican por bioturbación (Zárate-del Valle *et al.*, 2011), sin embargo se ha planteado la hipótesis de que estas inversiones de edad por ^{14}C son resultado de la mezcla de la columna sedimentaria presumiblemente por actividad paleosísmica (Garduño-Monroy *et al.*, 2003, 2004). El objetivo de este barreno es obtener información para confirmar, modificar o desechar esta hipótesis. Esta información es esencial para complementar el conocimiento de la actividad neotectónica del Punto Triple. Preferentemente se barrenará en la época de estiaje para evitar retrasos y contratiempos por la época de lluvias.

Perforación de núcleos someros. De la porción somera de la columna sedimentaria se colectarán por medio de un nucleador tipo *benthos*, doce núcleos cortos (~2m) distribuidos estratégicamente en el Lago (fig. 4). La Universidad de Guadalajara cuenta con el equipo de trabajo para perforar estos núcleos.

Fig 4. Depocentro y localización de barrenos programados

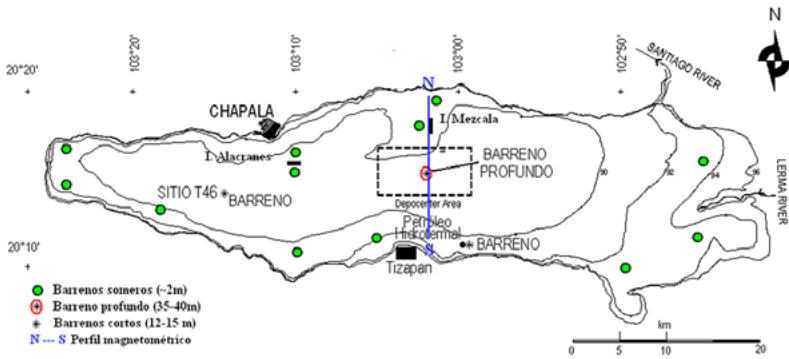
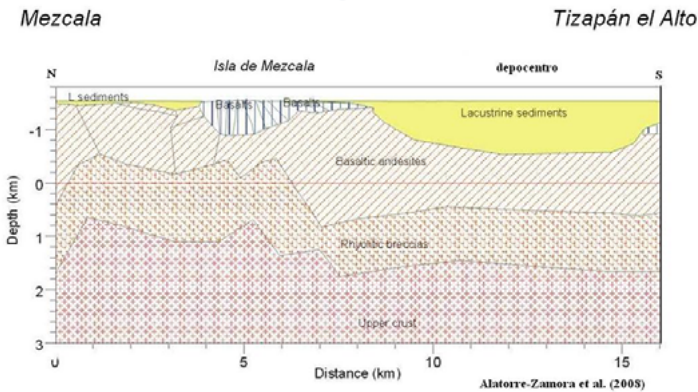


Fig. 5. Sección Geológica del depocentro del Lago de Chapala



Etapa de laboratorio

Técnicas radiométricas de datación:

- ^{210}Pb . Se aplicará en los doce barrenos cortos que están distribuidos estratégicamente en el Lago, por ejemplo, cerca de las islas Alacranes y Mezcala, Petrleo hidrotermal, etcétera (Descripción de la técnica: Oldfield and Appleby, 1984).

- ^{137}Cs De ser necesario, servirá para complementar y calibrar las dataciones por ^{210}Pb . (Descripción de la técnica: Oldfield and Appleby, 1984).
- ^{14}C Se aplicará la modalidad AMS en el muestreo sistemático con una equidistancia de un metro en la columna sedimentaria del barreno largo. (Descripción de la técnica: S.E. Trumbore, 2000).

Petrografía sedimentaria y volcánica. Se elaborarán y describirán láminas untadas («smear slides»: LRC, 2009a, b, c) de la columna sedimentaria considerando cambios litológicos, de color, textura, su clasificación sedimentaria (Schnurrenberger *et al.*, 2003) así como láminas delgadas de los horizontes de ceniza volcánica que se corten en los barrenos. En una primera etapa la equidistancia de muestreo será de un metro o al identificar cambios sedimentarios importantes en la columna.

Paleomagnetismo. La susceptibilidad magnética (χ) es la medida de la capacidad de un material (por ejemplo, rocas y minerales) de magnetizarse como respuesta al aplicársele un campo magnético (descripción de la técnica: Gale & Hoare, 1991). La χ del sedimento del lago Chapala oscila entre 400 y $800 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ llegando a exceder valores de $1000 - 1500 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Estos valores contrastan con la χ de los horizontes de cenizas volcánicas los cuales alcanzan valores $> 2000 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (Michaud *et al.*, 2006). Junto con la χ se medirán también las magnetizaciones remanentes antihistórica e isothermal y las magnetizaciones de saturación y remanente, así como la mineralogía magnética y la distribución del tamaño de partícula del mineral magnético. Estas técnicas se aplicarán al sedimento del barreno profundo para establecer la magnetoestratigrafía de la columna (Benammi *et al.*, 2003; 2004). Posteriormente se realizará la interpretación paleomagnética. Debido a la escasez de vidrio en las cenizas volcánicas, se ha reportado que estos horizontes en Chapala se caracterizan por tener valores $> 250 \text{ ppm}$ de Sr y $> 1.5\%$ de Na_2O , contenidos geoquímicos que al contrastar con el contenido promedio del sedimento reportado por Ramírez-Sánchez, (2001) de $\sim 150 \text{ ppm}$ de Sr y $\sim 0.5\%$ de Na_2O , identificarán los horizontes volcánicos (Michaud *et al.*, 2006) en la columna sedimentaria.

Micropaleontología. Diatomeas: Las diatomeas son un componente principal del fitoplancton lacustre. La identificación de las frústulas atrapadas en el sedi-

mento de un lago (Battarbee, 1973) permite que sean utilizadas ampliamente como un *proxy* de los cambios en las condiciones limnológicas por lo que son útiles para desarrollar investigaciones sobre: cambios en el nivel de los lagos y en su turbidez, para marcar el inicio de la actividad antrópica en la ribera y cuenca, variabilidad en la química y calidad del agua. Se incluye observaciones al Microscopio electrónico. Se hará una primera prospección a cada 0.5m. De ser necesario en los horizontes que resulten de interés se cerrara el estudio palinológico.

Geoquímica: La Geoquímica es una herramienta que permite cuantificar la presencia de los elementos químicos en rocas, minerales y sedimentos así como identificar su destino durante los procesos de intemperismo cuyos agentes principales de inicio son (fig. 6): el ácido carbónico, la hidrólisis de feldespatos, la oxidación e hidrólisis de óxidos, etcétera (Krauskopf 1967; Skinner *et al.*, 2004).

Fig. 6. Reacciones de intemperismo químico

TABLE 6.1 Common Chemical Weathering Reactions (Skinner et al, 2004)			
1. Production of carbonic acid by solution of carbon dioxide, and the ionization of carbonic acid:			
H_2O Water	$+ CO_2$ Carbon dioxide	$\rightleftharpoons H_2CO_3$ Carbonic acid	$\rightleftharpoons H^+ + HCO_3^{1-}$ Hydrogen ion Bicarbonate ion
2. Hydrolysis of potassium feldspar:			
$4KAlSi_3O_8$ Potassium feldspar	$+ 4H^+$ Hydrogen ions	$+ 2H_2O$ Water	$\rightarrow 4K^+ + Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 + 8SiO_2$ Potassium ions Kaolinite Silica
3. Oxidation and hydrolysis of iron (Fe^{2+}) compounds to form ferric hydroxide:			
$4FeO$ Iron oxide	$+ 6H_2O$ Water	$+ O_2$ Oxygen	$\rightarrow 4Fe(OH)_3$ Ferric hydroxide
4. Dehydration of ferric hydroxide to form goethite:			
$Fe(OH)_3$ Ferric hydroxide	$\rightarrow FeO(OH)$ Goethite	$+ H_2O$ Water	
5. Dehydration of goethite to form hematite:			
$2FeO(OH)$ Goethite	$\rightarrow Fe_2O_3$ Hematite	$+ H_2O$ Water	
6. Dissolution and hydrolysis of carbonate minerals by carbonic acid:			
$CaCO_3$ Calcium carbonate	$+ H_2CO_3$ Carbonic acid	$\rightarrow Ca^{2+} + 2(HCO_3)^{1-}$ Calcium ion Bicarbonate ions	

Fuente: Skinner *et al.*, 2004.

Las técnicas geoquímicas que deberán aplicarse son:

- *Difracción de Rayos X* (DRx; Descripción de la técnica: USGS, 2002): Identificar la mineralogía (silicatos, carbonatos, arcillas, etcétera) de los sedimentos del Lago de Chapala. Se hará una primera prospección a cada metro y en los horizontes con ceniza volcánica.
- *Fluorescencia de Rayos X* (FRx; Descripción de la técnica: Jenkins, 2002): Determinación del contenido (%) en los sedimentos de los siguientes óxidos «mayores» esenciales en la corteza terrestre: (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O) a los cuales se les agrega el TiO_2 y el FeO . Deberá realizarse una primera prospección a cada metro y en los horizontes con ceniza volcánica. De ser necesario se «cerrará» la prospección a 0.5m.
- *Espectrometría de Absorción Atómica* (AA; Descripción de la técnica: Broekaert J.A.C & Hywel E.E, 2002): Determinación de los elementos en traza que son aquellos metales no esenciales (Hg, Ag, Li, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Zr, etcétera) cuya presencia en las rocas y minerales es menor a uno por ciento y cuya cuantificación se reporta en parte por millón (ppm). Se incluye la determinación de mercurio ya que al final del siglo XIX en la ribera de Chapala hubo una efímera «fiebre minera» en búsqueda de yacimientos argento-auríferos. Como es sabido el mercurio fue un metal utilizado en la metalurgia de estas menas por su propiedad de amalgamación. Se hará una primera prospección a cada metro y de ser necesario se «cerrará» el muestreo.
- *Análisis elemental*: La determinación del contenido de Carbono orgánico e inorgánico permite identificar fases áridas y húmedas antiguas en la columna sedimentaria de los lagos. El contenido de carbono en el sedimento se realizará por oxidación directa, para lo cual se cuantificará el CO_2 , resultante de atacar la muestra con: a) H_2O_2 para obtener el carbón orgánico total (TOC); b) con HCl para obtener el carbono inorgánico total (TIC). Con la suma del TOC y del TIC se obtiene el contenido de carbono total (TC). Se hará una primera prospección a cada 0.5m que de ser necesario se complementará con un muestreo más «cerrado». Asimismo, se determinará el contenido de N.
- *Isótopos estables*: $\delta^{18}\text{O}$ Como es sabido $\delta^{18}\text{O}$ es el cociente de la presencia de los isótopos estables del oxígeno ^{18}O : ^{16}O , el cual es un indicador de la

- temperatura del ambiente y puede evidenciar la evaporación o el aporte de agua dulce a un cuerpo de agua, por lo que es posible la reconstrucción de la paleotemperatura en el tiempo. En particular se aplicará en los fósiles carbonatados que estén presentes en el sedimento del barreno profundo (Bradley 1999, p130-142; Rosenmeier *et al.*, 2002).
- *Determinación de la Tasa de sedimentación:* Una técnica sencilla para explicar el proceso de sedimentación se basa en el cálculo de la tasa de sedimentación expresada en mm y^{-1} . Sin embargo, esta técnica no considera, en particular, la compactación natural del sedimento ni la pérdida de agua inherente conforme se profundiza en el tiempo. Por ello, es mejor trabajar con la tasa de sedimentación considerando la «masa seca». Para evitar los inconvenientes asociados a la compactación natural de los sedimentos y a la compactación artificial durante la extrusión del sedimento del barreno, la profundidad «lineal» debe expresarse en unidades de la «profundidad-masa seca» expresada en (g cm^{-2}) lo cual correspondería a la «edad» del sedimento según la profundidad en la columna (). Para el caso particular del Lago de Chapala se aplicará (Ramírez-Sánchez, 1998; Fernex *et al.*, 2001) el modelo matemático CIC (*constant Initial Concentration* (Oldfield&Appleby, 1984). En base a las observaciones en los barrenos no se descarta la aplicación del modelo CRS (Constant Rate of Supply or Constant Flux Model: Appleby&Oldfield, 1978; 1983; Appleby, Nolan, Gifford, Godfrey, Oldfield, Anderson & Battarbee, 1986). Estos modelos requieren el inventario de la actividad de ^{210}Pb de la porción superior de la columna sedimentaria. Esta determinación de ser necesario se complementará con el inventario de la actividad del ^{137}Cs .
 - *Indicadores climáticos geoquímicos (proxies)* índices químicos de intemperismo y su interpretación climática:
 - *Condiciones de sequía.* Las condiciones de escasez de agua en una región («cuenca cerrada sin alimentación») resultan de condiciones de precipitación bajas en la cuenca y están evidenciadas por la abundancia en los sedimentos de carbonatos, sulfatos y esmectita tanto pedógena como autógena (Bischoff *et al.*, 1997). Estos componentes están representados cuantitativamente por el contenido de Ca, Sr, y Mg en la fracción del sedimento soluble en ácido (*cfr.* silicatos) y por el contenido de Cs_2O , de

MgO (exceso) y la pérdida por calcinación (LOI) en la fracción del tamaño de arcilla ($<2\mu\text{m}$).

- *Condiciones de lluvia.* La Abundancia de CaCO_3 generalmente es un indicador de largos tiempos de residencia del agua de un lago o condiciones de lagos «cerrados» mientras que contenidos bajos de CaCO_3 indican elevados flujos de agua y condiciones de inundación (Bischoff *et al.*, 1997).
- *Índices de intemperismo.* La intemperización de las rocas es el inicio de la formación de los sedimentos que serán transportados hasta la cuenca de depósito. Los índices de intemperismo toman en cuenta la movilidad química de los elementos constituyentes de rocas y minerales. Así, se hacen comparaciones entre proporciones moleculares de los óxidos mayores considerados como los más solubles con el óxido menos soluble (Al). Éstos índices esencialmente miden el grado de disminución de los componentes móviles en relación con componentes inmóviles. Los índices de intemperismo que se aplicarán son (Tabla 1):

Tabla 1. Índices de intemperismo

<i>Índice de Intemperismo</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Referencia</i>
R (Ruxton)	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Ruxton (1968)
WIP (Índice de intemperismo de Parker)	$[(2\text{Na}_2\text{O}/0.53) + (\text{MgO}/0.9) + 2\text{K}_2\text{O}/0.25) + (\text{CaO}/0.7)] \times 100$	Parker, (1970)
V (Índice residual de Vogt)	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})/(\text{MgO} + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$	Vogt (1927) in Price y Velbel (2003)
CIA (Índice químico de alteración)	$[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times (100)$	Nesbitt y Young (1982)
CIW (Índice químico de intemperismo)	$[(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})) \times (100)]$	Harnois (1988)
PIA (Índice de alteración de plagioclasa)	$[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})] \times (100)$	Fedo <i>et al.</i> (1995)
Índice sílice-titanio	$[(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)/((\text{SiO}_2/\text{TiO}_2) + \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) + (\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2)] \times (100)$	Jayawardena y Izawa (1994)

Con estos índices es posible aportar datos y reconstruir los paleoambientes de un sitio en particular (Roy *et al.*, 2008, 2009a,b). Los horizontes de ceniza volcánica también pueden ser corroborados al aplicar el índice CIA de Nesbitt y Young

(1982) modificado por Michaud *et al.*, (2006) al incluir el contenido de Mg: CIA + Mg ya que hay una correlación inversa evidente entre la susceptibilidad magnética (χ) y CIA+Mg.

Conclusiones

Los estudios paleoambientales en la zona central de México se han orientado a las porciones central y oriental. La información científica básica y de frontera que se generará en el extremo occidente de la Faja Volcánica Transmexicana con esta investigación, será posible correlacionarla con la existente en el sector centro-oriente, con lo cual, a mediano plazo, se podrá desarrollar un modelo completo de la variación hidrológica y climática durante los últimos 10,00 años, de costa a costa, para el sector central de México y su correlación e integración con estudios similares localizados al norte del Río Bravo (*cfr.* Adams, 1997).

Referencias

- Adams J. M. (1997). *Global land environments since the last interglacial*. Oak Ridge National Laboratory, TN, EUA. <http://www.esd.ornl.gov/ern/qen/nerc.html>
- Alan JF, Nelson SA, Luhr JF, Carmichael ISE, Wopat M, Wallace PJ (1991). Pliocen-Holocene Rifting an associated volcanism in southwest Mexico: An exotic terrane in the making EN Dauphin JP, Simoneit BRT (eds.). The Gulf and Peninsular Province of California: Tulsa OK, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, 425-445.
- Alatorre Zamora M. A., Maciel Flores R. y Rosas Elguera J. (2007). *Corteza Superior del Graben de Chapala Inferida Mediante Modelado de Perfiles Magnéticos*. Geos 27-3, Un Geofísica Mex.
- Aparicio J. (2001). *Chp 1: Hydrology of the Lerma-Chapala Watershed* IN Hansen A.M. van Afferden M. (eds.): The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management. Ed. Kluwer Academic/Plenum Pub.
- Appleby, P.G. and F. Oldfield (1978). *The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported lead-210 to the sediment*. Catena v5, p1-8.
- Appleby, P.G. and F. Oldfield (1983). *The assessment of ²¹⁰Pb data from sites with varying sediment accumulation rates*. Hydrobiologia v103, p. 29-35.
- Appleby, P.G., P.J. Nolan, D.W. Gifford, M.J. Godfrey, F. Oldfield, N.J. Anderson, & R.W. Battarbee (1986). *²¹⁰Pb dating by low background gamma counting*. Hydrobiologia v143, p. 21-27.
- Audemard, A. y De Santis, F. (1991): *Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes*. Bull. Inter. Assoc. Eng. Geol., 44: 5-16.
- Barrier E., Bourgois J. Michaud F., (1990). *Le syteme de rifts actifs du point triple de Jalisco: Vers un proto-golfe de Jalisco*. C.R. Acad. Sci. Paris, v310, série II, pp. 1513-1520.
- Battarbee R.W. (1973). *A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatom*. Limnol. Oceanogr, v18, pp. 647-653.
- Beierle B. & Smith D.G. (1998). *Severe drought in the early Holocen (10,000-6,800 BP) interpreted from lake sediment cores, southwestern Alberta, Canada*. 3Palaeo v140, pp. 75-83.

- Benammi, M., Urrutia-Fucugauchi, J., Alva-Valdivia, L.M. 2003. *Magneto-stratigraphic Study of the Continental Lower Miocene Suchilquitongo Formation, Southern Mexico*. The Journal of Geology. v. 111-5, pp. 605-615.
- Benammi, M., Chaimanee, Y., Urrutia-Fucugauchi, J. Jaeger, J.J. (2004). *Magnetostratigraphic study of the continental sedimentary sequence of the Chiang Muan Basin, northern Thailand: Implications for the age of the first Miocene hominoids from Thailand*. Intl Geology Review, v46-7, pp. 646-654.
- Bischoff J.L., Menking K.M., Fitts J.P. and Fitzpatrick J.A. (1997). *Climatic oscillations 10,000-155,000 yr B.P. at Owens Lake, California Reflected in Glacial Rock Flour Abundance and Lake Salinity in core OL-92*. Quaternary Research v48, 313-325.
- Bischoff, J., Israde Alcantara, I., Gardun˜o-Monroy, V.H., Shanks III, W., 2004. *The springs of Lake Patzcuaro: chemistry, salt balance, and implications for the water balance of the lake*. App Geochemistry v19, p1827-1835.
- Bradley, R.S. (1999). *Paleoclimatology (Reconstructing Climates of the Quaternary)*. Ed. Harcourt Academic Press.
- Bradbury J.P. (2000). Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México for the past 48,000 years: impact of climate and man. 3Palaeo v163, pp. 69-95.
- Broekaert J.A.C & Hywel E.E. (2002). Chapter 21. *Atomic Spectroscopy*. IN Günzler & Williams (eds.) Handbook of Analytical Techniques VII, pp. 626-726. Ed. Wiley-VCH.
- CDI (Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas) 2010. *Lugares Sagrados, Recintos y Centros Ceremoniales*. <http://www.cdi.gob.mx/wixarika/index.html>.
- Castiglia P.J. & Fawcett P.J. (2010). *Large Holocene lakes and climate change in the Chihuahuan Desert*. Geology, v34, pp. 113-116.
- CEA (Comisión Estatal del Agua). (2010). *Niveles máximos y mínimos del Lago de Chapala 1900-2010*. <http://www.cejalisco.gob.mx/sia/niveles/niveles.html>
- Cojan, I. y Thiry, M. (1992). *Seismically induced deformation structures in Oligocene shallow-marine and eolian coastal sands (Paris Basin)*. Tectonophysics, 206: 79-89.
- Davies, Sarah J, Metcalfe, Sarah E, Leng, Melanie J, Newton, Anthony J, and Cook, Gordon (2003). *Stable isotope records of late holocene climate variability in Michoacán, Central Mexico*. Abstract XVI INQUA Congress.
- Davies SJ, Metcalfe SE, Mackenzie AB, Newton AJ, Endfield GH and Farmer JG (2004). *Environmental changes in the Zirahuén Basin, Michoacán, México, during the last 1000 years*. J. Paleolimnology 31: 77-98.
- Davies S.J., Metcalfe S.E., Bernal-Brooks F., Chacón-Torres A., Farmer J.G., Mackenzie A.B., Newton A.J. (2005). *Lake sediments record sensitivity of two hydrologically closed upland lakes in Mexico to human impact*. Ambio v34-6, p470-475.
- De Anda J., Quiñones-Cisneros S.E., French R.H., Guzmán M. (1998). *Hydrologic Balance of Lake Chapala*. JAWRA v34-6, p 1319-1331.
- De Anda J., Shear H., Maniak U., Zárate-del Valle P.F. (2004). *Solids distribution in Lake Chapala, Mexico*. JAWRA v40-1, p97-109.
- De Anda J., Shear H., Zavala J.L. (2005). Simplified Hydrologic Correlations to forecast the natural regime of Lake Chapala. J. Env. Hydrology, v13, paper23. <http://www.hydroweb.com>.
- Engstrom D.R. & Wright H.E. Jr. 1984). Chp. 1: *Chemical Stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change*. IN: Haworth & Lund (eds.) Lake Sediments and Environmental History. Univ. Minnesota Press.
- Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995). *Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: Implications for paleoweathering conditions and provenance*. Geology v23, p921-924.

- Fernex F., Zárate-del Valle P.F., Ramírez-Sánchez H.E., Michaud F., Parron C., Dalmasso J., Barci-Funel G., Guzmán-Arroyo M. (2001). *Sedimentation rates in Lake Chapala (western Mexico): possible active tectonic control*. Chem Geology, v177, p. 213-228.
- Ferrari L. (2009). *Geologic origin of the lacustrine basins of the Trans-Mexican Volcanic Belt*. 11th. International Paleolimnology Symposium. Programme and Abstract Volume. Ed. Int. Paleolimnology Association.
- Fisher C. (2007). *Agricultural Intensification In The Lake Pátzcuaro Basin: Landesque Capital As Statecraft*. IN T. Thurston and C. Fisher (eds) Seeking A Richer Harvest: The Archaeology of Subsistence Intensification, Innovation, and Change, Studies in Human Ecology and Adaptation, #3, Ed. Springer.
- Filonov A.E. (2002). On the dynamical response of Lake Chapala, Mexico to lake breeze forcing. Hydrobiologia v467 (1-3), p141-157.
- Fritz, C.S., Metcalfe, E.S., Dean, W., 2001. Holocene climate patterns in the Americas inferred from Paleolimnological records. In: Markgraf, V. (Ed.), Interhemispheric Climate Linkages. Academic Press, Londres, pp. 241-263.
- Gale S.J., Hoare P.G. (1991). *Quaternary Sediments. Petrographic Methods for the Study of Unlithified Rocks*. Ed. Hlsted Press. Pp. 201-229.
- García Acosta V. y Suárez Reynoso G. (1999): *Los sismos en la historia de México. vol. Y: 450 años de documentos. México FCE/CIESASUNAM, 718p.*
- Garduño Monroy, V.H., Rodríguez Pascua, M.A. y Alcántara Israde, I. (2003): *La deformación de las secuencias lacustres del Pleistoceno – Holoceno: evidencias de actividad sísmica importante en las cuencas de Pátzcuaro y Zacapu. Michoacán. México. GEOS. 23 (2): 121-122*
- Garduño-Monroy, V.H., Rodríguez-Pascua, M.A., Israde-Alcantara, I., (2004). *Evidencias paleosísmicas en fallas activas y sedimentos deformados del Lago de Pátzcuaro. Jarácuaro, Michoacán, México. Geotemas 6 (3), 151-154.*
- Harnois L. (1988). The CIW index: A new chemical index of weathering. Sed Geology v55, p319-322.
- INEGI-INAH (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática e Instituto Nacional de Antropología e Historia). (1988). *Mapas y Planos de México Siglos XVI al XIX*. Pág. 35. Ed. INEGI.
- Israde-Alcántara I., (1999a). *Informe del Estudio micropaleontológico [diatomeas y polen] de los núcleos 22, 30, 31 y 35 extraídos en el Lago de Chapala. Informe técnico: Proyecto SIMORELOS 970306003. Inédito.*
- Israde-Alcántara I., (1999b). *Los Lagos Volcánicos y tectónicos de Michoacán* IN: Corona-Chávez P. e Isrtade-Alcántara I. (eds.): Carta Geológica de Michoacán Escala 1:250,000. Ed. Un. Mich. De S.N. de Hidalgo.
- Israde A.I., Zárate V.P., Gasse F., Michaud F., (2000b). *Surface sediments diatom assemblages in Chapala Lake and taphonomic process related*. 1st. International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. Final Program and Abstract. Ed. Asoc. Mex. Limnología-IMTA. p108.
- Jayawardena U. De S. & Izawa, E. (1994). *A new chemical index of weathering for metamorphic silicate rocks in tropical regions: A study from Sri Lanka*. Engineering Geology v36 p303-310.
- Jenkins R. (1992). *Chapter 23: X-Ray Fluorescence Spectrometry*: IN Günzler & Williams (eds.) Handbook of Analytical Techniques VII, p.753-766. Ed. Wiley-VCH.
- Krauskopf K.B. (1967). *Introduction to Geochemistry*. Ed. McGraw Hill Book Co.
- Langridge, R.M., Weldon, R.J., Moya, J.C., Suárez, G., 2000. *Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican Volcanic Belt*. J. Geophys. Res., 105 (B2), p. 3019-3037.
- Li, Y., Craven, J., Schweig, E.S. y Obermeier, S.F. (1996): *Sand boils induced by the 1993 Mississippi River flood: Could they one day be misinterpreted as earthquake-induced liquefaction*. Geology, 24, 2: 171-174.

- Lind O.T. y Dávalos-Lind L. (2001). *An introduction to the Limnology of Lake Chapala, Jalisco, México*. IN Hansen A.M. van Afferden M. (eds.): The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management. Ed. Kluwer Academic/Plenum Pub.
- Lozano-García M.S., Vázquez-Selem L. (2005). A high-elevation Holocene pollen record from Iztacchuatl volcano, central Mexico. *The Holocene*, v15-3, p329-338.
- Lozano-García, M. S., Caballero M.; Ortega B., Rodríguez A. Sosa S. (2007). *Tracing the effects of the Little Ice Age in the tropical lowlands of eastern Mesoamerica*. Proceedings of N Academy Sciences-U.S.A. v104-41, p16200-3.
- LRC (Limnological Research Center-University of Minnesota). 2009a. *Smear Slides*. Disponible en: <http://lrc.geo.umn.edu/smearslides.pdf>
- LRC (Limnological Research Center-University of Minnesota). 2009b. *Smear Slide Manual*. Disponible en <http://lrc.geo.umn.edu/smears/smear.html>.
- LRC (Limnological Research Center-University of Minnesota). 2009c. *Smear Slide identifications*. Disponible en <http://lrc.geo.umn.edu/smears/smear.html>
- Luhr J.F., Carmichael I.S.E. (1990). *Geology of Volcán de Colima*. Bol. 107. Inst. de Geología- UNAM.
- Mata Torres, R. (1970). Los Huicholes, Guadalajara. Ediciones de la Casa de la Cultura Jalisciense.
- Mateos M., Sanjurjo O. I., Vrijenhoek R. C. (2002). *Historical Biogeography of the livebearing fish genus poeciliopsis (poeciliidae: cyprinodontiformes)*. *Evolution* v56-5, p972-984
- Metcalfe S.E., O'Hara S.L., Caballero M. Davies S. (2000). *Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico — a review*. *Quaternary Sc. R.* v19-7, p 699-721
- Mensing S.A. (2001). *Late-Glacial and early Holocene vegetation and climate change near Owens Lake, Eastern California*. *Quaternary Research* v55, p57-65.
- Michaud F., Ramírez-Sánchez H.U., Parron C., Zárate-del Valle P. F., Fernex F., Barci-Funel G. 2006. *Strong Magnetic levels in lake Chapala sediments (western Mexico): their mineralogy and stratigraphic significance*. *J.Paleolimnology* v35, p.819-836.
- Mohindra, R. y Bagati, T.N. (1996): *Seismically induced soft-sediment deformation structures (seismites) around Sumdo in the lower Spiti valley (Tethys Himalaya)*. *Sedim. Geol.*, 10: 69-83.
- Navarro-Sánchez, S. (1999). *La Isla de Mezcala. La Gesta Olvidada*. Ed. Agata.
- Nesbitt HW & Young GM (1982). *Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites*. *Nature* v299, p715-717.
- Neuendorf K.K.E., Mehl J.P., Jr. Jackson J.A. (2005). *Glossary of Geology*. Am. Geological Institute.
- Obermeier, S.F. (1996): *Use of liquefaction – induced features for paleoseismic analysis. An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo – earthquakes*. *Eng. Geology*. 44: 1 – 76.
- Oldfield F. and Appleby P.G. (1984) *Chapter 3 Empirical testing of ²¹⁰Pb-dating models for lake sediments in Haworth E.Y. and Lund J.W. (ed.) Lake sediments and environmental history*. U. Minnesota press.
- Ortega B., Caballero C., Lozano S., Israde I, Vilaclara G. *52000 years of environmental history in Zacapu basin, Michoacan, Mexico: the magnetic record*. *EPSL*, v202, p663-675.
- Ortiz-Jimenez M.A., de Anda J., Maniak U. (2006). *Estimation of trophic states in warm tropical lakes and reservoirs of Latin America by using GPSS simulation*. *Interiencia* v31-5, p345-350.
- Parker A (1970) *An index for weathering for silicate rocks*. *Geological Magazine* 107: 501-504.
- Price JR and Velbel MA (2003). *Chemical weathering indices applied to profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks*. *Chem Geology*, v202 p397-416.
- Ramírez-Sánchez HU (1998). *Determination du taux de sédimentation dans le Lac Chapala (Mexique) par les méthodes radiométriques*. Tesis maestría. Universidad d'Aix Marseille, inédita.

- Ramírez-Sánchez HU (2001). *Caractérisation hydrologique et sédimentologique d'un lac tropical: Le Lac Chapala (Mexique)*. Tesis doctoral. Universidad de Niza-Sofia Antipolis_UFR Sciences. 300p. inédita.
- Rosas-Elguera J., Ferrari L., Garduño-Monroy V.H., Urrutia-Fucugauchi J. (1996). *Continental Boundaries of the Jalisco Block and their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico*. *Geology* v24-10, p921-924.
- Rosas-Elguera J., Urrutia-Fucugauchi J., (1998). *Tectonic control of the Volcano-Sedimentary Sequence of the Chapala Graben, Western Mexico*. *Int Geology Review*. V40, p350-362.
- Rosenmeier, M.F., D.A. Hodell, M. Brenner, J.H. Curtis, J.B. Martin, F. Anselmetti, D. Ariztegui, and T.P. Guilderson. 2002. *Influence of vegetation change on watershed hydrology: implications for paleoclimatic interpretation of lacustrine $\delta^{18}O$ records*. *J Paleolimnology* v27, p117-131.
- Ruxton BP (1968). *Measures of the degree of chemical weathering of rocks*. *Geology* v76, p518-527.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R., Smykatz-Kloss, W. (2008). *Geochemistry of Late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: implication to chemical weathering and provenance*. *Chemie der Erde-Geochemistry* v68, p383-393.
- Roy, P.D., Nagar, Y.C., Juyal, N., Smykatz-Kloss, W., Singhvi, A.K. (2009). *Geochemical signatures of Late Holocene paleo-hydrological changes for the Phulera and Pokharan saline playas near the eastern and western margins of the Thar Desert, India*. *J Asian Earth Sciences* v34, p275-286.
- Roy, P.D., Caballero, M., Lozano, R, Pi, T., Morton, O. (2009). *Late Pleistocene-Holocene geochemical history inferred from Lake Tecocomulco sediments, Basin of Mexico, Mexico*. *Geochemical J* v43, p49-64.
- Roy, P.D., Smykatz-Kloss, W., Morton, O. (2008): *Geochemical zones and reconstruction of late Holocene environments from shallow core sediments of the Pachapadra paleo-lake, Thar Desert, India*. *Chemie der Erde-Geochemistry* 68, 313-322.
- Sandoval F de P. (1994). *Pasado y Futuro del Lago Chapala*. Unidad Editorial Gob. Jalisco.
- Sandra P.J.F. (2001). *Chapter 11. Gas Chromatography*. IN Günzler & Williams (eds.) *Handbook of Analytical Techniques* vI, p.199-259. Ed. Wiley-VCH.
- Schlumberger (2008). Glossary. <http://www.glossary.oilfield.slb.com/Display.cfm?Term=depocenter> (visita: febrero 6, 2008)
- Schnurrenberger D., Russell J., Kelts K. (2003). *Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components*. *J. Paleolimnology* v.29, p. 141-154.
- Sims, J.D. (1975): *Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments*. *Tectonophysics*, 29: 141-152.
- Smol, J.P. (2008). *Pollution of Lakes and Rivers. A paleoenvironmental perspective*. Blackwell Pub.
- Skinner B.J., Porter S.C. and Park J. (2004). *Dynamic Earth: An Introduction to Physical Geology*. Ed. John Wiley & Sons, 5th edition.
- Takahama, N., Otsuka, T. Yy Brahmantyo, B. (2000): *A new phenomenon in ancient liquefaction – the draw-in process, its final stage*. *Sedim. Geol.* 135 (1-4): 157-165.
- Trumbore S.E. (2000). *Radiocarbon Geochronology* IN Stratton N., Sowers J.M., Lettis W.R. (eds.): *Quaternary Geochronology. Methods and Applications*; p. 41-60.
- Trujillo-Cárdenas JL, Saucedo-Torres NP, Zárate-del Valle PF, Rios-Donato N, Mendizabal E, Gómez-Salazar S (2010). *Speciation and Sources of Toxic Metals in Sediments of Lake Chapala, Mexico*. *J Mex Chem Soc* 54-2, 79-87.
- U.S.G.S. (2002). *A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction*. U.S.G.S. Open file Report 01-041. Disponible en: <http://pubs.usgs.gov/openfile/of01-041/index.htm>.
- Vázquez-Castro G., Ortega-Guerrero B., Rodríguez A., Caballero M., Lozano-García S. (2008). *Mineralogía magnética como indicador de sequía en los sedimentos lacustres de los últimos ca. 2,600 años de Santa María del Oro, occidente de México*. *R. Mex. Ciencias Geol.*, v25-1, p21-38.

- Wesler P. (2009). *Capturing the waters: the hydraulic mission in the Lerma-Chapala Basin, Mexico (1876-1976)*. Water Hist v1, p9-29.
- Zárate-del Valle P.F., DeMetz C., Hutton J., Sanchez O., Stock J. (2000a). *Using High-Precision GPS to constrain vertical and horizontal crustal movement near Lake Chapala, Mexico*. 1st. International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. Final Program and Abstract. Ed. Asoc. Mex. Limnología-IMTA. p57.
- Zárate-del Valle P.F. Fernex F., Parron C., Ramírez-Sánchez H.U., Michaud F., (2000b). *Geology, Sediments and Soils*. 1st. International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. Final Program and Abstract. Ed. Asoc. Mex. Limnología-IMTA. p 42.
- Zárate-del Valle P.F. & de Anda S. J. (2000c). *Morphometric variations between Chapalicum Mare (1579) and Lake Chapala (1999)*. 1st. International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. Final Program and Abstract. Ed. Asoc. Mex. Limnología-IMTA. p38.
- Zárate-del Valle P.F., Israde I., Parron C., Ramírez-Sánchez H.U., Michaud F., Fernex F., de Anda J. (2000d). *Geochemistry of shallow sediments at lake Chapala, western Mexico (ECOS M95U01 and SIMORELOS 970306003 Projects in progress)*. 1st. International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. Final Program and Abstract. Ed. Asoc. Mex. Limnología-IMTA. p58.
- Zárate-del Valle P.F., Michaud F., Parron C., Solana-Espinoza G., Israde-Alcántara I., Ramírez-Sánchez H.U., Fernex F (2001). *Chapter 2: Geology, Sediments and Soils in Hansen and van Afferden (eds.) The Lerma-Chapala Watershed, Evaluation and Management*. Ed. Kluwer Academic - Plenum Publishers.
- Zárate-del Valle P.F., Michaud F., Parron C., Solana-Espinoza G., Israde-Alcántara I., Ramírez-Sánchez H.U., Fernex F. (2002). *Chp 2: Geology, Sediments and Soils*. IN: Hansen A.M. van Afferden M. (eds.): *The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management*. Ed. Kluwer Academic/Plenum Pub.
- Zárate-del Valle Pedro F., Bernd R. T. Simoneit, (2005a). *Hydrothermal bitumen generated from sedimentary organic matter of rift lakes – Lake Chapala, Rift Citala, western Mexico*. App. Geochem. V20, pp 2343-2350.
- Zárate del Valle P.F. y Simoneit B (2005b) *La generación de petróleo hidrotermal en sedimentos del Lago Chapala y su relación con la actividad geotérmica del rift Citala en el estado de Jalisco, México*. Rev. Mex. Ciencias Geológicas v22-3: 358-370.
- Zárate-del Valle P.F., Israde Alcántara I., Ramírez-Sánchez H.U., Gómez-Salazar S., Rios Donato N. (2006). *Radiocarbon Dating and age Inversions in Lake Chapala Late Holocene Sediments, Western Mexico*. Eos trans. AGU, 87(52). Fall Meet. Suppl. Abstract GC21A-1319.
- Zárate Del Valle P.F., Ramírez-Sánchez H.U., Fernex F. and Israde-Alcántara I (2007). *Naturally Altered Radiocarbon Dating of Lake Chapala Late Holocene Sediments, Western Mexico*. 4th International Limnogeology Congress. Programme& Abstracts Book. Ed. International Association of Limnogeology.
- Zárate-del Valle P.F. (2009). *Índices de intemperismo. Ejemplo del Lago-cráter Santa María del Oro, Nayarit, México*. Geos v29-1, p.72.
- Zárate-del Valle P.F., Ramírez-Sánchez H.U., Fernex F., Bernd R.T. Simoneit, Israde-Alcántara I., (2011). *Radiocarbon age inversions and progression: source and causes in Late Holocene sediments from Lake Chapala, western Mexico*. Environ Earth Sci 63:1011-1019.

Segundo Congreso de de Ciencia y Tecnología para el desarrollo de Jalisco. Memorias
coordinado por Gildardo Sánchez Ante
se editó para publicación digital en febrero del 2015
en Arlequín Editorial y Servicios, S.A. de C.V.
Morelos 1742, Col. Americana, CP 44160
Guadalajara, Jalisco, México
Tels. (33) 3657-3786 y 3657-5045

Diagramación y corrección
Javier Bella / Mónica Millán