



TLATEMOANI
Revista Académica de Investigación
Editada por Eumed.net
No. 16 – Agosto 2014
España
ISSN: 19899300
revista.tlatemoani@uaslp.mx

Fecha de recepción: 05 de mayo de 2014
Fecha de aceptación: 13 de agosto de 2014

**DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y
MICROENCAPSULACIÓN DE COMPUESTOS ACTIVOS DE *OPUNTIA FICUS-
INDICA***

**Determination of antioxidant activity and microencapsulation of active
compounds of *Opuntia ficus-indica***

Dra. Abigail Reyes Munguía
abigail.reyes@uaslp.mx

José Isabel Martínez Castillo
jose_isabel_@hotmail.com

Dr. Ariel Vázquez Elorza
ariel.vazquez@uaslp.mx

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca

RESUMEN

Actualmente la industria alimentaria busca desarrollar nuevos productos de valor agregado, utilizando técnicas como la microencapsulación. El nopal al provenir de un cultivo multipropósito, puede considerarse un alimento funcional. El objetivo de

esta investigación fue determinar la actividad antioxidante y encapsular los compuestos activos a distintas muestras de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Se realizó un extracto acuoso 1:1 (p/v), se añadieron tres biopolímeros al 20%, se midieron propiedades antioxidantes y fisicoquímicas. El extracto escaldado presentó mayor capacidad antioxidante (12.92%), los compuestos polifenólicos fueron mayores en la infusión en seco (1.69mgEAG/L); la goma arábiga seyal brindó mayor protección a los compuestos activos del nopal presentando mejor estabilidad de la capacidad antioxidante contenida. Por lo anterior se concluye la importancia del escaldado para inhibir de la oxidación de la verdura, además la goma arábiga seyal puede utilizarse como material de pared para proteger los compuestos activos del nopal.

PALABRAS CLAVE: nopal, antioxidantes, microencapsulación, *Opuntia*, alimento funcional.

ABSTRACT

Currently the food industry is seeking to develop new value-added products, using techniques such as microencapsulation. Nopal to come from a multipurpose crop, can be considered a functional food. The objective of this research was to determine the antioxidant activity and the active compounds to encapsulate different samples of cactus (*Opuntia ficus-indica*). An aqueous extract 1:1 (w / v) was performed three biopolymers were added to 20%, antioxidants and physicochemical properties were measured. Blanching extract showed higher antioxidant capacity (12.92%), the

polyphenolic compounds were higher in the dry infusion (1.69mgEAG/L); acacia seyal provided greater protection to the active compounds cactus presenting better stability of antioxidant capacity. Therefore the importance of blanching is concluded to inhibit oxidation of the vegetable, acacia seyal also be used as wall material for protect the active compounds nopal.

KEYWORDS: nopal, antioxidants, microencapsulation, *Opuntia*, active compounds, functional food.

INTRODUCCIÓN

El nopal o planta de tuna es una cactácea endémica de América. Existen 258 especies reconocidas, 100 de las cuales se encuentran en México, quien cuenta con una superficie aproximada de 10,000 hectáreas (ha) de plantaciones especializadas en nopal para consumo humano (Sistema Producto Nopal y Tuna, 2014). Este puede ser un cultivo alternativo para zonas con problemas por bajos rendimientos debido al empobrecimiento paulatino de los suelos o lugares donde hay deficiencia de agua para los cultivos tradicionales, siendo el caso de la parte norte de la República Mexicana (Lozano, 2013); considerándose como cultivo multipropósito, ya que es un recurso importante para la dieta humana y como forraje para alimento de animales, y a la vez que lleva un rol fundamental en la

conservación de hábitats degradados debido a la prevención de la erosión de los ecosistemas agrarios (Chessa *et al.*, 2005).

El nopal ocupa el sexto lugar entre las hortalizas más consumidas en el país, mientras que la gastronomía nacional permite que forme parte de un sinnúmero de platillos, aunque tales productos presentan inconvenientes como la presencia de baba y espinas; por lo que muchas presentaciones comerciales permanecen desconocidas en el mercado mexicano ya sea porque los consumidores no las han probado o no se han percatado de su existencia (SAGARPA, 2011).

En los últimos años se ha incrementado el interés en la búsqueda de fuentes importantes de antioxidantes naturales, para que se pueda contribuir a la producción de alimentos con un valor agregado y así estimular el consumo de estos productos (Reyes *et al.*, 2009). El nopal es considerado un alimento funcional, ya que además de proporcionar sabor y nutrición puede ofrecer beneficios a la salud y en la prevención de enfermedades, además es una fuente interesante de componentes entre los que destacan: la fibra, hidrocolóides, los pigmentos, los minerales Ca y K y Vitamina "C" (Valencia *et al.*, 2010).

Todo esto, abre enormes posibilidades para que se puedan impulsar y desarrollar, mecanismos que posibiliten la transformación agroindustrial del nopal, ya que gracias a la multiplicidad de componentes, bien podrían ser materia prima de la agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano, la de alimentos para animales, la industria farmacéutica, cosmética, de suplementos alimenticios,

llegando aunque nos parezca extraño hasta el propio sector de la construcción y el energético (SAGARPA, 2011).

Las principales ventajas de la microencapsulación son: proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad); el compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado; las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo; la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra, el sabor y olor del material puede ser enmascarado; puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen; estabilización de principios activos inestables; y transformación de líquidos en sólidos (Parra, 2010).

El objetivo de este trabajo fue determinar la actividad antioxidante de distintos tipos de muestras de *Opuntia ficus-indica* logrando microencapsular los compuestos activos de dichas muestras, y en base a eso dar a conocer el valor agregado con el que cuenta el nopal, para poder usarlo en la elaboración de alimentos de consumo humano y que estos puedan beneficiar la salud humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras. El nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) se adquirió en el mercado de abastos de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. Se seleccionó

visualmente en base a su grado de madurez, apariencia y tamaño. Se lavaron con agua limpia y la humedad superficial se eliminó por medio de escurrimiento, se cortaron en trozos de 1 cm² aproximadamente.

Para la muestra fresca se tomó un primer lote de nopal cortado y se realizó una extracción sólido-líquido 1:1 peso/volumen (p/v) usando agua destilada. El resto de *Opuntia ficus-indica* fue sometido a un proceso de escaldado a 90 °C durante 2 min, para detener la acción enzimática y minimizar los posibles cambios indeseables de sabor y olor, realizando la prueba de guayacol; para esto se colocó en un mortero de porcelana 5 g de muestra escaldada, al cual se le adicionaron 5 mL de solución de guayacol al 1%, posteriormente se adicionaron 5 mL de peróxido de hidrógeno al 0.5%, y después de 3 min. Se evaluó el desarrollo de color en la muestra y en la solución (Meyer *et al.*, 1984). Después del escaldado se procedió a secar una parte de las muestras en una estufa de vacío a 55 °C, y el resto se utilizó para la realización de encapsulados en proporción 1:1 (p/v) en los cuales se disolvieron tres diferentes biopolímeros al 20% (maltodextrina, goma arábiga seyal y goma arábiga senegal) para la protección de los compuestos activos. A la muestra seca se le realizaron infusiones colocando 15 g en 250 mL de agua destilada, en un tiempo de extracción de 5 min., filtrándose rápidamente con la ayuda de un papel filtro Whatman No. 2. Al extracto de muestra fresca, al extracto de muestra escaldada, a las infusiones de muestra seca y a los encapsulados con biopolímeros se les realizaron las siguientes determinaciones:

1. Contenido de sólidos totales. Se pesaron 500 g de muestra y se colocaron en una estufa de vacío a 55 °C hasta llegar a peso constante. Transcurrido el tiempo se volvió a pesar y por diferencia de peso se calculó la humedad (AOAC, 1995).

2. Contenido de fenoles totales. El análisis se realizó conforme a la metodología de Folin-Ciocalteu, para esto se tomó 1 mL del extracto de muestra diluida 1:10 con agua destilada, colocándolo en un tubo de ensayo al cual se adiciono 5 mL de reactivo diluido 1:10 de Folin-Ciocalteu, se dejaron reposar durante 7 min y posteriormente se adicionaron 4 mL de la solución de carbonato de sodio 7.5%. Los tubos se cubrieron con papel aluminio para protegerlos de la luz y se dejaron en reposo por 2 hrs a temperatura ambiente. Después, se midió su absorbancia a una longitud de onda de 740 nm en un espectrofotómetro Thermo Scientific Aquamate Plus de luz UV-VIS (Singleton *et al.*, 1999).

3. Intensidad de color. Los extractos se diluyeron 1:10 con agua destilada, los cuales se midieron con un espectrofotómetro Thermo Scientific Aquamate Plus de luz UV-VIS a una longitud de onda de 390 nm (Reyes *et al.*, 2009).

4. Potencial redox. Las mediciones se realizaron con un electrodo de platino (Orión 927007MD Star) conectado a un potenciómetro. Se calibró contra una solución estándar redox $E = 420$ milivoltios (mV) a 25 °C. Los extractos se colocaron en un vaso de precipitado de 50 mL, donde se introdujeron electrodos. Los valores del potencial redox en mV se registraron hasta por lo menos 5 min., para que el potencial redox alcanzara su estabilidad (Manzoco *et al.*, 1998).

5. Actividad antioxidante. La actividad antioxidante de los extractos se midió a través de la inhibición del radical estable 2,2 difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Para esto se colocaron 3 mL de una solución metanólica de DPPH 6.1×10^{-5} M y se hicieron reaccionar con 0.1 mL de cada extracto tanto en fresco como en seco (Brand *et al.*, 1995). La mezcla se dejó reaccionar en oscuridad y se monitoreo el cambio en la absorbancia de las muestras por un periodo de 60 min., en un espectrofotómetro Thermo Scientific Aquamate Plus de luz UV-VIS. El porcentaje de inhibición DPPH fue calculado conforme a la Ecuación 1.

Ecuación 1: % Inhibición de radicales libres = $[(Ac-As)/Ac] \times 100$. Dónde:

Ac = absorbancia del DPPH antes de la reacción

As = absorbancia de la mezcla de DPPH con la muestra.

6. pH. El pH se determinó con un potenciómetro Thermo Scientific Orión Dual Star calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10 a 25 °C. Para realizar las mediciones se colocaron 30 mL de extracto en un vaso de precipitado de 50 mL (Reyes *et al.*, 2009).

7. Flavonoides. Los reactivos preparados fueron Nitrito de Sodio (NaNO_2) al 5% con agua destilada, Cloruro de Aluminio (AlCl_3) al 10% con agua destilada e Hidróxido de sodio (NaOH) 1 M. La curva estándar se realizó con puntos de 150 a 1000 μM de catequina con metanol (80%). El método utilizado fue 250 μL de extracto más 1.25 mL de agua destilada, posteriormente se agregaron 75 μL de NaNO_2 al 5% y se dejaron reposar por 5 min., enseguida se adicionaron 150 μL de AlCl_3 al 10% y se dejaron reposar por 6 min al final se agregaron 500 μL de NaOH

1 M más 275 μ L de agua destilada. Inmediatamente se analizó la muestra a una longitud de onda de 510 nm de absorbancia en un espectrofotómetro Thermo Scientific Aquamate Plus de luz UV-VIS (Re *et al.*, 1999).

RESULTADOS

La humedad de las muestras en fresco se determinó por diferencia de peso, realizando una curva de humedad (Figura 1), se obtuvo una humedad de 96.96% base húmeda.

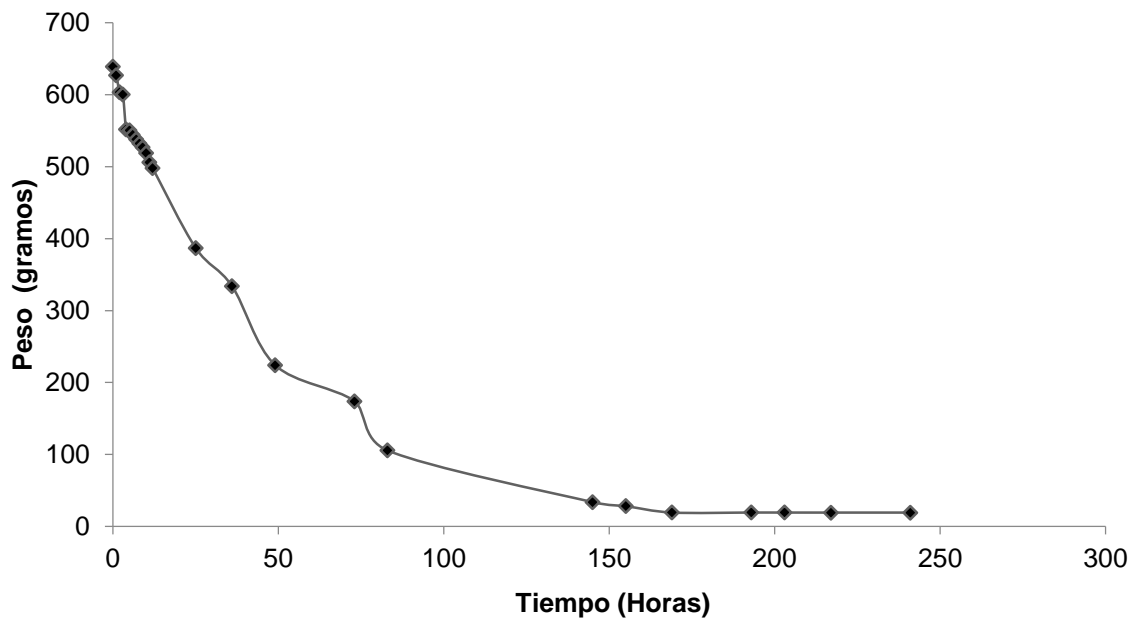


Figura 1. Curva de humedad

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de laboratorio.

Las determinaciones de las propiedades físico-químicas de los extractos de la muestra fresca sin escaldar, muestra fresca escaldada e infusión de muestra seca se observan en la Tabla 1, donde la infusión presento un pH = 7.92, el cual es superior en comparación con el extracto en fresco y escaldado.

Tabla 1. Determinaciones de propiedades físico-químicas a extractos de nopal

Muestra	pH	Sólidos totales (°Brix)
Extracto fresco sin escaldar	4.52 ± 0.06 ^a	2
Extracto fresco Escaldado	4.31 ± 0.05 ^a	1
Infusión muestra seca	7.92 ± 0.11 ^a	3

^a Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia basada en resultados de laboratorio.

Las propiedades antioxidantes de los extractos e infusión, están registrados en la Tabla 2, se observa una mayor capacidad antioxidante en el extracto fresco escaldado de 12.92%, potencial redox con 258.34 mV; y los fenoles totales son mayores en la infusión de muestra seca con 1.649 mg EAG/L. En cuanto a la intensidad de color es superior en la infusión que en los extractos, ya que durante la infusión de produjo una liberación de compuestos coloridos mayores que en los extractos (Tabla 2).

Tabla 2. Determinaciones de propiedades antioxidantes a extractos de nopal.

Determinación de actividad antioxidante y microencapsulación de compuestos activos de *Opuntia ficus-indica*

Muestra	Potencial Redox (mV)	Flavonoides	Fenoles totales (mg EAG/L)	Capacidad antioxidante (% de inhibición)	Intensidad de color (D.O. 390 nm)
Extracto Fresco sin escaldar	173.30 ± 17.96 ^a	0.363 ± 0.03 ^a	0.921 ± 0.04 ^a	3.25 ± 0.22 ^a	1.93 ± 0.21 ^a
Extracto fresco escaldado	258.34 ± 7.58 ^a	0.522 ± 0.02 ^a	0.387 ± 0.03 ^a	12.92 ± 0.31 ^a	1.88 ± 0.52 ^a
Infusión muestra seca	59.45 ± 11.52 ^a	2.09 ± 0.00 ^a	1.649 ± 0.00 ^a	6.68 ± 0.29 ^a	3.39 ± 0.03 ^a

^a Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia basada en resultados de laboratorio.

Para el proceso de microencapsulado se utilizó la muestra fresca escaldada. En la figura 2, se observan las gráficas con las propiedades antioxidantes para los microencapsulados de compuestos activos de *Opuntia ficus-indica*.

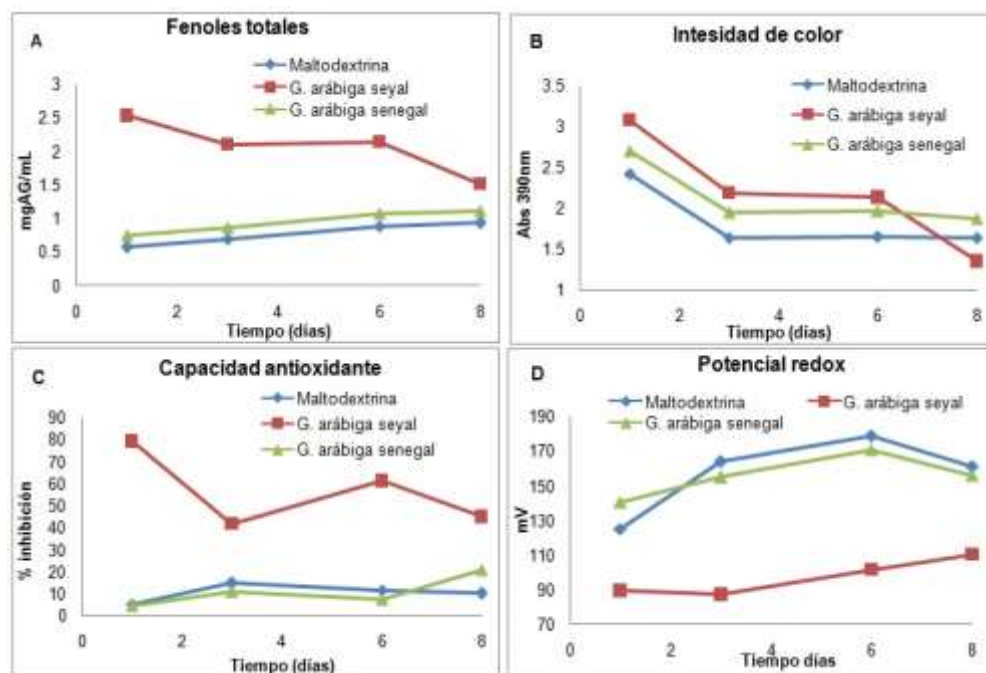


Figura 2. Características antioxidantes de los microencapsulados: A) Fenoles totales. B) Intensidad de color. C) Capacidad Antioxidante. D) Potencial redox.

En el encapsulado con goma arábica seyal se mantuvo un mayor contenido de fenoles totales (Figura 2-A) y mayor capacidad antioxidante (Figura 2-C) en comparación con los otros dos biopolímeros, la intensidad de color descendió proporcionalmente en los tres biopolímeros (Figura 2-B). En cambio el potencial redox fue mayor en el encapsulado utilizando maltodextrina (Figura 2-D).

DISCUSIÓN

Las muestras de *Opuntia ficus-indica* se lavaron y cortaron en trozos pequeños de aproximadamente 1 cm² para someterse al proceso de escaldado, el cual sirvió para detener la acción de la enzima peroxidasa de la verdura y así reducir los posibles cambios de olor y sabor en ella durante la encapsulación de los compuestos activos. La efectividad del escaldado se determinó mediante el color desarrollado en la prueba de Guayacol.

El guayacol en conjunto con el peróxido de hidrógeno hacen que la enzima peroxidasa tome un color rojo-café oscuro, la inactivación térmica de la enzima es

un proceso complejo; el grupo hemo (esencial para la activación de la enzima) y la fracción de carbohidratos juegan un papel muy importante en este proceso, donde la actividad enzimática se manifiesta por la aparición de un color de aspecto parduzco, cuando se pone en contacto con el guayacol y el peróxido de hidrogeno (Meyer *et al.*, 1984). Se corrieron varias pruebas a diferentes tiempos y temperaturas de escaldado hasta asumir que la enzima había sido inactivada, logrando que no hubiese cambio de coloración en la prueba. Las mejores condiciones que se obtuvieron en el escaldado para una reacción negativa fue a una temperatura de 90 °C durante 2 min.

Extracto de muestra deshidratada Las muestras de *Opuntia ficus-indica* que se escaldaron se llevaron a secado hasta obtener un peso constante, el cual se presenta en la Figura 1, realizando pesadas a diferentes tiempos durante 241 hrs. para la construcción de una curva de humedad. La principal función del escaldado es la inactivación enzimática, por lo que los extractos escaldados han sido inactivados de cambios enzimáticos, sin embargo en un extracto fresco que no ha sido sometido a procesos de inactivación enzimática, aún tiene enzimas que pueden llevar a una degradación de la capacidad antioxidante de las muestras (Gimferrer, 2012).

La humedad de las muestras en fresco se determinó por diferencia de peso, realizando una curva de humedad, se obtuvo una humedad de 96.96% base húmeda; en donde el nopal se escaldó previamente antes de ser sometido al

proceso de secado. El nopal deshidratado se sometió a una temperatura de 55 °C; estudios previos realizados por Martínez *et al.* (2010) describen que el tiempo de secado se reduce considerablemente en muestras de nopal escaldado en comparación con el nopal sin escaldar, debido al aumento de temperatura durante el proceso de secado. Esto, a causa de que el escaldado produce alteraciones estructurales que afectan el transporte de humedad y a que a mayor temperatura del aire se obtiene una mayor velocidad de secado. El nopal que fue escaldado previamente alcanzó un peso constante a las 160 hrs., en comparación con Martínez *et al.* (2010) que a una temperatura de secado de 50 °C fueron necesarias 175 hrs. para lograr obtener un peso constante.

Las muestras de *Opuntia ficus-indica* una vez deshidratadas completamente, se trituraron y se evaluaron propiedades fisicoquímicas (Tabla 1) y antioxidantes (Tabla 2). La capacidad antioxidante de las muestras deshidratadas es inferior en comparación con el extracto fresco escaldado, lo que resulta significativamente relevante al igual que el resto de las propiedades antioxidantes, esto concuerda con lo descrito por Jonsson (1991) de que los antioxidantes de muchos alimentos pueden ser significativamente inactivados como consecuencia del procesamiento; situación que ocurrió al procesar las muestras para obtener los extractos a partir de infusiones de la muestra deshidratada.

Microencapsulación de compuestos activos. El extracto fresco escaldado de *Opuntia ficus-indica* fue protegido con materiales de pared (maltodextrina, goma

arábiga seyal y goma arábica Senegal), para la microencapsulación de los componentes activos. Estos se evaluaron durante ocho días, para poder seleccionar el encapsulado más viable en base al promedio de las determinaciones.

Todos los extractos microencapsulados con los biopolímeros mostraron una diferencia baja entre sus valores de pH, variando este entre 4.1 y 4.3. Reyes *et al.* (2009) menciona que cuando el pH permanece sin cambios significativos, es debido a que la actividad antioxidante de los extractos no fue afectada por los cambios iónicos, este indicador fisicoquímico se mantuvo estable durante el periodo de encapsulación. El pH es un indispensable indicador para que los microorganismos no puedan proliferar en dichos encapsulados, ya que de esta manera la mayoría de las bacterias y hongos se desarrollan en un pH óptimo entre 4.5 y 9.0, lo cual no comprende el pH de dichos microencapsulados (Leyval *et al.*, 2009). Por lo que las bacterias y hongos no modificaron su apariencia, además no se alteraron los compuestos microencapsulados de *Opuntia ficus-indica*, debido al pH ácido que presentaron durante el periodo de monitoreo de los extractos microencapsulados. La diferencia entre las mediciones de °Brix no es significativa ya que varía entre 17 y 18 °Brix, existiendo una diferencia de 1 °Brix entre las microencapsulaciones con goma seyal, goma senegal y maltodextrina.

El potencial redox es mayor para la muestra fresca escaldada ya que no permite que las enzimas oxiden los compuestos presentes en el nopal, además de tener un efecto fundamental sobre la microflora de los alimentos, en este caso, los extractos

microencapsulados de *Opuntia ficus-indica*, además que indica los mV en el que un medio gana o pierde electrones

El extracto microencapsulado que funcionó como mejor material de pared para las microcápsulas, brindando una protección a los compuestos activos de las muestras de *Opuntia ficus-indica* es el extracto con goma arábica seyal, como se observa en la Figura 2-C, ya que una mayor capacidad antioxidante que el resto de los biopolímeros.

CONCLUSIONES

Las mejores propiedades antioxidantes de *Opuntia ficus-indica* se lograron cuando se realizó la extracción en fresco con proceso de escaldado. La mayor capacidad antioxidante de las muestras es estable cuando se usa como material de pared la goma arábica seyal, ya que le brinda protección durante el encapsulado, este producto puede ser una alternativa para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales en la industria alimentaria.

LITERATURA CITADA

AOAC. (1995). *Official methods of analysis*. Association of Analytical Chemists.

Brand Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* , 25-30.

Chessa, I., Satta, D., & Nieddú, G. (2005). Evaluación de los recursos genéticos de la *Opuntia* spp. para la selección de variedades. *CACUSNET* , 12-20.

Gimferrer Morató, N. (2012). *Escaldado de alimentos para mayor inocuidad*. Retrieved 2013, from <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnología/2009/05/25/185488.php>

Jonsson, L. (1991). Thermal degradation of carotenoids and influence on their physiological function. *In Nutritional and toxicological consequences of food processing*, 75-82.

Leyval, V., Tamara, K., Puig, Y., Carrera, J., & Cabrera, M. R. (2009). ¿Qué factores influyen en el crecimiento y supervivencia de los microorganismos en los alimentos? *Secretaría del Consejo Científico y Dpto. de Microbiología de los Alimentos del Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos (INHA)*.

Lozano, L. (2013). Nopalitos: Alternative Food for the north of Argentine. *Cactusnet Newsletter*, 107-115.

Manzoco, L., Anese, M., & Nicole, M. C. (1998). Antioxidant properties of tea extracts as affected by processing. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 694-698.

Martínez Soto, G., Flores Ortega, A., Mercado Flores, J., & López Oroszco, M. (2010). Características de secado de nopal (*Opuntia ficus-indica*) por lecho fluidizado. *Acta Universitaria*, 70-76.

Meyer, R., Gaetano, P., Usami Olmos, C., & Medina Figueroa, J. (1984). *Control de calidad de productos agropecuarios*. México: Editorial Trillas.

Parra Huertas, R. A. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Facultad Nacional Agronomía Medellín*, 5669-5684.

RE, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation the colorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 1231-1237.

Reyes Munguía, A., Azuara Nieto, E., Beristain, C. I., Cruz Sosa, F., & Vernon Carter, E. J. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morados (*Rhoeo discolor*). *CyTA Journal of Food*, 209-216.

SAGARPA. (2011). Nopal y tuna, unamirada a su realidad actual. *Revista mensual Claridades Agropecuarias*.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* , 152-178.

SPNyT. (2014). *Proyecto estratégico nacional nopal y tuna 2013-2019*. Retrieved 2014, from <http://nopalytuna.org.mx/3522/files/Nopal%20y%20Tuna/Proyecto%20estrategico%20nacional%20nopal%20y%20tuna%202013%20261113.pdf>

Valencia Sandoval, K., Brambila Paz, J. d., & Mora Flores, J. S. (2010). Evaluación del nopal verdura como alimento funcional mediante opciones reales. *Agrociencia* , 955-953.