

Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (*Avena sativa* L. cv Bachíniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua

Physicochemical, rheological and functional characterization of oat flour (*Avena sativa* L. cv Bachiniva) cultivated in the region of Cuauhtemoc, Chihuahua

FERNANDO FÉLIX FLORES-PEÑA¹, FLAVIA YADIRA LOZANO-QUEZADA², ARTURO RAMOS-MARTÍNEZ²,
RENÉ SALGADO-DELGADO³, VÍCTOR MANUEL GUERRERO-PRIETO¹, SALVADOR RAMÍREZ-MANCINAS²,
LUIS ARTURO BELLO-PÉREZ⁴ Y PAUL BARUK ZAMUDIO-FLORES^{2,5}

Recibido: Abril 8, 2013

Aceptado: Agosto 14, 2014

Resumen

En el presente trabajo se obtuvo una harina a partir del cereal de avena (*Avena sativa* L.) de la variedad Bachíniva, el cual representa una de las principales fuentes de ingresos para la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. La harina se caracterizó fisicoquímicamente mediante la evaluación de color, poder de hinchamiento/solubilidad y análisis químico proximal. Se determinaron sus propiedades térmicas, moleculares, de formación de pastas (perfil amilográfico) y reológicas. Los resultados mostraron que la harina de esta avena es alta en proteínas y lípidos (6 y 8%, respectivamente) lo cual es adecuado para regímenes alimenticios en donde se requieren una alta cantidad de estos nutrientes. La temperatura y la entalpia de gelatinización (62 °C y 8 J/g) fueron comparables con los valores reportados en otras variedades de avenas. El perfil amilográfico, la viscosidad y las propiedades funcionales indicaron una posible interacción entre los compuestos no amiláceos y el almidón, lo cual se corroboró con el análisis molecular. Los resultados indicaron que esta harina, por sus características fisicoquímicas, reológicas y funcionales puede ser empleada en la industria alimentaria para la producción de pudines, formulaciones infantiles y panes para enfermos celiacos.

Palabras clave: harina, poder de hinchamiento, solubilidad, espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier, perfil amilográfico, propiedades térmicas.

Abstract

In this work It was obtained a flour made out of cereal oat (*Avena sativa* L.) cv Bachiniva, which represents one of major source of income for the region of Cuauhtemoc, Chihuahua. The flour was physicochemically characterized by evaluating color, swelling power/solubility and proximate chemical analysis. Thermal, molecular, formation of pastes (amylographic profile) and rheological properties were determined. The results showed that this oat meal is high in protein and lipid (6 and 8%, respectively) which is suitable for feeding regimes where high amounts of these nutrients are required. The temperature and enthalpy of gelatinization (62 °C and 8 J/g) were comparable to those reported in other varieties of oats. The amylographic profile, viscosity and functional properties indicated a possible interaction between non-starch compounds and starch which was corroborated by molecular analysis. The results indicated that this flour for their physicochemical, rheological and functional properties can be used in the food industry for the production of puddings, infant formula and breads for celiac patients.

Keywords: flour, swelling power, solubility, Fourier transform infrared spectroscopy, amylographic profile, thermal properties.

¹ Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas Campus Cuauhtémoc. Av. Presa La Amistad # 2015, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Cuauhtémoc, Fisiología y Tecnología de Alimentos de la Zona Templada. Avenida Río Conchos s/n, Parque Industrial, Apartado postal 781, C.P. 31570, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Teléfono: 625 5812920, 21 y 70, Ext. 111.

³ Instituto Tecnológico de Zacatepec. Posgrado-Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos, México.

⁴ Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Km 8.5 carr. Yautepec-Jojutla, Col. San Isidro, C.P. 62731, Yautepec, Morelos, México.

⁵ Dirección electrónica del autor de correspondencia: pzamudio@ciad.mx.

Introducción

Anivel mundial, la avena constituye un cereal minoritario en comparación con otros cereales como el trigo, el maíz y el arroz, ya que representa un 1.5% de la producción global total de los cereales, siendo similar en producción a los cereales de sorgo y centeno (Morris y Bryce, 2000). Actualmente los productores más importantes de este cereal son Rusia, Canadá, Estados Unidos de América, Alemania, Finlandia y Australia (Galdeano *et al.*, 2009).

El cereal de avena se cultiva ampliamente en las regiones de clima templado y se estima que la producción mundial en el año 1998 fue de aproximadamente 33,000,000 t (Morris y Bryce, 2000). Se considera una planta de estación climática fría y muy sensible a altas temperaturas en época de floración y de formación del grano, exigente en agua, adaptable a suelos arcillo-arenosos donde se retenga humedad y se adapta mejor que otros cereales a suelos ácidos, cuyo pH oscile entre 5 y 7 (SAGARPA, 2010).

El grano de avena está compuesto principalmente de los carbohidratos de almidón y β -glucanos, los cuales constituyen cerca del 60% de la materia seca (Hoover *et al.*, 2003), presenta además otros componentes que aunque son minoritarios son de suma importancia nutritiva, como las proteínas y los lípidos (Liu *et al.*, 2010). El consumo de productos a base de avena se ha asociado con una disminución de los niveles de colesterol sanguíneo, ingesta reducida de glucosa, disminución en la respuesta a la insulina plasmática y control del peso a través de una saciedad prolongada (Hallfrisch y Behall, 2000; Welch, 1995); efectos que se atribuyen a la elevación de la viscosidad en el tracto gastrointestinal, causado principalmente por los β -glucanos (Liu *et al.*, 2010; Wood, 2007).

Diversos estudios han publicado algunas características fisicoquímicas y reológicas de los principales componentes de la avena, entre los que destacan los trabajos pioneros realizados por Paton (1977 y 1979), Doublier *et al.* (1987) y recientemente por Galdeano *et al.*

(2009) y Berski *et al.* (2011) en torno a la propiedades reológicas de almidones de avenas de diferentes variedades y de los efectos individuales e interacciones entre los componentes de β -glucanos, almidón y proteína en las propiedades de formación de pastas en harinas de siete diferentes líneas experimentales de avenas (Liu *et al.*, 2010).

A nivel nacional, de acuerdo con datos proporcionados por la SAGARPA en el año 2009, la producción de avena fue de aproximadamente 130,500 t. Se sabe que el estado de Chihuahua ocupa el primer lugar nacional en producción de avena en grano, con un aporte superior al 70% de la producción nacional total (SAGARPA, 2010).

La región de Cuauhtémoc, Chihuahua, se caracteriza por su amplia cultura ganadera y agrícola, en este último sector sobresale el cultivo del cereal de avena y sobre todo la variedad de avena «Bachíniva». Esta variedad se liberó como una alternativa para sustituir a las variedades precoces «Páramo» y «Cusihuirachi», las cuales son susceptibles a las enfermedades de roya y como una variedad de alto rendimiento para la industria (Salmerón, 2002). Las características agronómicas de la avena variedad «Bachíniva» fueron descritas por Salmerón (2002); destacan su buena adaptación y su mayor rendimiento en comparación con las otras variedades de avena.

Al momento, y a pesar de que la avena «Bachíniva» es uno de los cereales más cultivados y cosechados en la región de Cuauhtémoc, poco se conoce en cuanto a la composición fisicoquímica de este cereal, por

lo que el objetivo del presente trabajo consistió en realizar una caracterización fisicoquímica, reológica y funcional a la harina de este cereal con la idea de tener una mejor comprensión de la relación estructura-función de los principales componentes y con esto diversificar su aplicación industrial.

Materiales y métodos

Materiales. Se obtuvieron tres lotes de 20 kg del cereal de avena variedad «Bachiniva» los cuales fueron proporcionados por la empresa «Avenas del Norte» localizada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua. Todos los reactivos químicos utilizados para el análisis químico proximal fueron de grado analítico, adquiridos de Sigma-Aldrich, Co. (Toluca, Estado de México, México).

Obtención de la harina. Se utilizó la metodología reportada por Hoover *et al.* (2010) con una modificación consistente en que solamente se llegó a la parte correspondiente a la harina, para lo cual se lavó la avena con agua destilada por al menos 2 min y se dejó remojando con el agua destilada en una relación 1:2 (cereal:agua en peso/volumen) por un mínimo de 1 h. Una vez transcurrido el tiempo de remojo, se desechó el agua y se preparó una mezcla al 35% p/v con agua destilada para licuarse a una velocidad moderada (250 rpm) por 15 min. La suspensión se filtró mediante un cedazo fino (100 μm) en un vaso de precipitados. El coleccionado del vaso de precipitados se dejó reposar durante 2 h con el fin de separar las capas líquidas. Se agregó agua destilada en una relación 1:2 (almidón:agua) (p/v), se agitó a una velocidad de 250 rpm durante 15 min y se dejó reposar por 2 h.

Se descartó el sobrenadante y el precipitado se vació en soportes metálicos (charolas de aluminio) y se dejó reposar y secar durante 16 h a temperatura ambiente (20 ± 3 °C). Una vez seco el material, éste se molió con la ayuda de un mortero y se tamizó en un cedazo de malla mediana (1 mm) para obtener partículas de tamaño homogéneo.

Caracterización fisicoquímica.

Análisis químico proximal. Se realizó la determinación de proteínas, lípidos, fibra, cenizas y humedad a la harina mediante los métodos oficiales de la AOAC (2002).

Determinación del almidón total (AT). Se determinó el contenido de AT mediante una cuantificación que estima la cantidad total de almidón que está disponible a la hidrólisis enzimática. Esta determinación se realizó utilizando la metodología reportada por Goñi *et al.* (1997), para lo cual se dispersaron 50 mg de la muestra en una solución de KOH a la concentración de 2 M para hidrolizar todo el almidón que pudiera contener la muestra durante 30 min y posteriormente se incubó a 60 °C, durante 45 min a un pH de 4.75 con una solución de la enzima amiloglucosidasa (Marca Roché, núm. 102 857, Roche Diagnostics, IN, EUA), transcurrido este tiempo se procedió a determinar el contenido de glucosa liberada utilizando el ensayo de glucosa oxidasa/ peroxidada (GOD/PAD) (SERA-PAK® Plus, Bayer de México, S.A. de C.V.). El contenido de AT se calculó como glucosa (mg) x 0.9, como referencia se utilizó almidón de papa.

Evaluación de color. El color se determinó utilizando un colorímetro Minolta CR-300 (Minolta, Co., Ltd., Osaka, Japón). El equipo se calibró con un estándar de color blanco. Las lecturas se tomaron de puntos aleatorios sobre la superficie de las muestras. Se registraron un promedio de cuatro lecturas por muestra. Las lecturas se reportaron en el sistema CIELAB (L^* , a^* , b^*). Las mediciones del color se realizaron por triplicado.

Evaluación de las propiedades funcionales.

Perfil de hinchamiento y solubilidad. La solubilidad se determinó por el método propuesto por Huijbrechts *et al.* (2008), para lo cual se pesaron 0.1 g de la harina (en base seca) y se mezclaron con 1.5 mL de agua destilada, posteriormente, la suspensión se calentó durante 4 h a 60, 70, 80 y 90 °C. La mezcla se centrifugó a 6,500 x g durante 30 min.

El sobrenadante se decantó y se secó a 105-106 °C durante 12 h. Se registró el peso del sedimento. El poder de hinchamiento se definió como la relación del peso del sedimento húmedo al peso inicial del almidón seco. El porcentaje de solubilidad se determinó a partir de la relación del peso del sobrenadante seco al peso seco inicial del almidón.

Determinación de las propiedades térmicas. Se estudiaron las propiedades térmicas de la harina utilizando un calorímetro diferencial de barrido modelo 2010 (TA Instruments, Inc. New Castle, EUA), para lo cual se empleó el método propuesto por Paredes-López *et al.* (1994), el cual consistió en mezclar 2 mg de la muestra (en base seca) con 7 μ L de agua desionizada en una charola de aluminio. La charola se selló herméticamente con una prensa manual y se dejó equilibrar por 1 h antes de realizar el análisis. Las muestras se sometieron a un programa de calentamiento en un intervalo de temperatura de 30 a 120 °C y una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. La determinación se hizo al menos por triplicado.

Evaluación de la viscosidad aparente. La viscosidad aparente se determinó mediante un reómetro AR1500ex (TA Instruments, New Castle, DE, EUA) el cual se equipó con la geometría de placas paralelas de acero inoxidable ($\theta = 60$ mm) adaptado con el sistema Peltier para el control de la temperatura a 25 °C. Se utilizó un gap de 500 μ m entre las placas, la cantidad de muestra utilizada fue de 1.5 mL a la concentración de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 % (p/v). La viscosidad aparente (η_{ap}) se determinó en función del incremento de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) de 10 a 600 s^{-1} y observando el esfuerzo cortante (τ). Las curvas se ajustaron utilizando el modelo reológico de Ostwald-de Wael también conocido como la Ley de Potencia: $\tau = \kappa \dot{\gamma}^n$; donde: τ = Esfuerzo cortante (Pa), $\dot{\gamma}$ = Velocidad de corte o deformación (s^{-1}), κ = Coeficiente de consistencia (Pa.sⁿ), n = Índice de comportamiento de flujo (adimensional) (Steffe, 1992).

Perfil de formación de pastas. El perfil de formación de pastas se determinó mediante la técnica propuesta por la AACCC (2000), para lo cual se preparó una dispersión de almidón al 10% (p/v) de sólidos totales en base seca. Se transfirieron 10 mL de la dispersión al tazón de un equipo Micro-Viscoamílografo Brabender (Brabender, OHG, Duisburg, Alemania). Se programó el equipo a un ciclo de calentamiento-cocción-enfriamiento a partir de una temperatura inicial de 30 °C; posteriormente, se calentó a 95 °C y se mantuvo esta temperatura por 10 min, luego se enfrió a 50 °C y se dejó a esta temperatura por 10 min. Se empleó una velocidad de calentamiento-enfriamiento durante todo el ciclo de 3 °C/min y una velocidad de agitación de 125 rpm. Para observar los comportamientos fisicoquímicos, y con fines de comparación, se realizó un análisis a una muestra de almidón de maíz comercial (control).

Caracterización molecular. Para la caracterización molecular se utilizó la técnica FTIR (espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier) mediante un espectroscopio de infrarrojo de la serie PRS (Marca MIDAC, CA, EUA) el cual estuvo equipado con un sistema de pastilla de KBr y con el sistema de reflectancia total atenuada a una temperatura de 25 ± 2 °C. Para la muestra se colectaron 32 barridos con una resolución de 4 cm^{-1} y de estos se obtuvo un valor promedio. Se trabajó en la región de 400 a 4000 cm^{-1} debido a que es la región en la cual se identifican sus características específicas y los grupos funcionales. Con fines de comparación, se realizó una determinación con una muestra de almidón de maíz comercial (control).

Análisis estadístico. Los experimentos se realizaron empleando un diseño completamente aleatorizado. Se utilizó un análisis de varianza (AdeVA, $p \leq 0.05$) usando el programa estadístico Sigma-Stat, versión 2.03 (Fox *et al.*, 1995). Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de las medias ($p \leq 0.05$; Walpole *et al.*, 1999).

Resultados y discusión

Análisis químico proximal. En el Cuadro 1 se observan los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la harina de avena. En general se observó un alto contenido de lípidos y proteínas (8 y 6%, respectivamente) lo cual ha sido corroborado por otros investigadores en muestras de harinas de avenas de diferentes variedades (Åman, 1987; Glennie-Holmes *et al.*, 1992; Hartunian-Sowa y White, 1992). Estos valores fueron más altos que los reportados por Hoover y Ratnayake (2003) lo cual se debió a que el cereal de avena cv Bachíniva presentó un mayor contenido de lípidos y proteínas. También se cuantificó un alto contenido de fibra, lo cual se debió a restos de pericarpio que pudieron ser producto de la molienda. Diversos investigadores han reportado la presencia de una alta cantidad de fibra dietaria en muestras de harinas de otras variedades de avenas, por lo que su presencia es característica de estos cereales y esto representa una fuente nutritiva importante para la salud humana debido a la presencia de β -glucanos en la fibra (Hoover *et al.*, 2003; Welch, 1995).

Cuadro 1. Resultado del análisis químico proximal realizado a la harina de avena*.

Análisis	Cantidad (%)
Lípidos	8.00 ± 0.20
Proteínas**	6.40 ± 0.20
Cenizas	1.20 ± 0.02
Fibra	4.03 ± 0.08
Humedad	3.50 ± 0.10
Almidón total	67.20 ± 1.50

* Promedio de tres repeticiones ± error estándar. Valores en porcentaje en base seca. **Cuantificado por el método Kjendahl. Factor de conversión de $N_2 = 6.25$.

Con respecto al contenido de almidón total se obtuvo un porcentaje de 67% en promedio en las muestras de harina. Esto nos indicó que esta harina presentaba una cantidad importante de

almidón, el cual es el componente responsable de conferirle algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales a la harina (Ayadi *et al.*, 2011).

Evaluación de color. El resultado de la evaluación de color en la harina se observa en el Cuadro 2. Como se puede apreciar, la harina presentó un valor del factor de luminosidad (L^*) de ≈ 91 , con coordenadas a^* y b^* de 0.04 y 7.42, respectivamente; mientras que el croma y el °hue fueron de 7.82 y 90. En cuanto al valor L^* , los resultados son comparativamente similares a los reportados por von Atzingen y Silva Machado Pinto (2005) en un estudio realizado en harinas y almidones de cereales (harina de trigo, $L^* = 91.8$; harina de maíz, $L^* = 82.3$ y almidón de maíz, $L^* = 97.10$). Estos resultados indicaron una coloración blanca debido a la presencia del componente mayoritario (el almidón) y que esta harina es adecuada para utilizarse para consumo humano en productos alimenticios como formulaciones infantiles.

Cuadro 2. Evaluación de color y variables térmicas obtenidas por calorimetría diferencial de barrido (CDB) en la harina de avena*.

Análisis	Variables analizadas				
	L^*	a^*	b^*	Croma	°hue
Color	90.52 ± 0.08	0.036 ± 0.01	7.42 ± 0.04	7.82 ± 0.50	89.7 ± 0.08
CDB	T_g		ΔH (J/g)		
	61.85 ± 0.93		8.10 ± 0.99		

* Promedio de cinco repeticiones ± error estándar. T_g = temperatura de gelatinización; ΔH = cambio de entalpía asociado a la gelatinización.

Análisis térmico. En el Cuadro 2 se observan los resultados obtenidos de las variables térmicas. El valor de la variable T_g (temperatura de gelatinización) está dentro de los intervalos reportados por otros investigadores en un estudio realizado con cultivares de avena ($T_g = 56$ a 74 °C; Hoover *et al.*, 2003). Galdeano *et al.* (2009) determinaron un valor de T_g de 64.71 °C en una muestra de almidón de avena de la variedad IAC-7 y recientemente, Ovando-Martínez *et al.* (2013) reportaron un valor de T_g de 62.74 °C en una harina de avena americana (*Avena sativa* L. cv

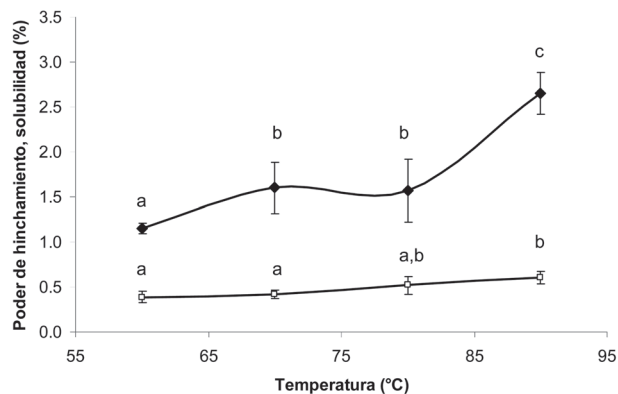
«Ebeltoft»). El resultado de T_g indicó el valor de la temperatura a la cual se está llevando la gelatinización de los gránulos de almidón; la otra variable térmica (ΔH = cambio de entalpía) mostró la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo ese cambio fisicoquímico. Noda *et al.* (1998) fundamentan que la temperatura de gelatinización es influenciada por la estructura molecular de la región cristalina, la cual se debe a la distribución de las cadenas de amilopectina, y no a la proporción de regiones cristalinas.

El valor obtenido de ΔH (8.10 J/g) fue ligeramente menor al reportado por Hoover *et al.* (2003) en muestras de almidones de avenas de otras variedades. Esta variación puede deberse a que en los estudios anteriormente mencionados se han reportado valores de variables térmicas en muestras de almidones, mientras que los estudios realizados en torno a harinas del cereal de avena son escasos. En comparación con otros cereales como el maíz, los valores de T_g y ΔH son inferiores, lo cual puede deberse al mayor contenido de lípidos (Wang y White, 1994) y a la presencia de una mayor cantidad de cadenas cortas de la amilopectina que conforma el gránulo de almidón (Mua y Jackson, 1995).

Estos resultados son importantes desde el punto de vista de la industria de alimentos, ya que indican que la harina cv Bachiniva puede tener un impacto positivo en la textura final en alimentos como pudines, formulaciones infantiles y en los productos de panificación.

Poder de hinchamiento y solubilidad. En la Figura 1 se observa el resultado de poder de hinchamiento y solubilidad de la harina de avena. Se observaron incrementos en el poder de hinchamiento y solubilidad en la muestra a medida que incrementó la temperatura. Este comportamiento se debió principalmente al efecto de la temperatura en el hinchamiento de los gránulos de almidón y al fenómeno fisicoquímico de la gelatinización, el cual involucró un rompimiento de la estructura granular (Chávez-Murillo *et al.*, 2012).

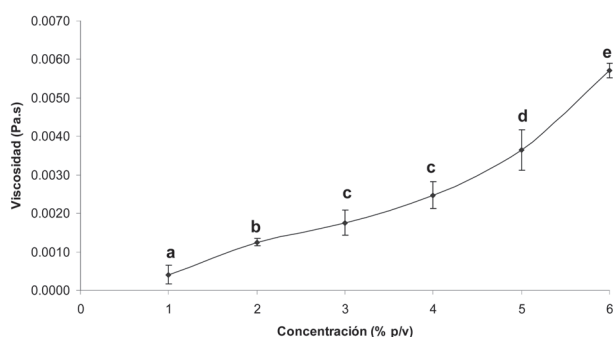
Figura 1. Poder de hinchamiento (\square) y solubilidad (\blacklozenge) de la harina de avena. Valores con letras iguales en las barras de error estándar no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



Está claramente comprobado que los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero a medida que se incrementa la temperatura, estos comienzan a absorber agua y, si el calentamiento es continuo, se produce la gelatinización. Lo anterior ha sido reportado por diversos investigadores en muestras de almidón de plátano (Aparicio-Saguilán *et al.*, 2005) y amaranto (Bello-Pérez *et al.*, 1998). Los valores de hinchamiento y solubilidad en la muestra de harina son bajos en comparación con los valores (9.5 a 22.3%) reportados por Hoover y Senanayake (1996) en almidones de avenas AC Stewart (*Avena sativa* L.) y NO 753-2 (*Avena nuda* L.). Estos bajos valores pueden estar relacionados con la cantidad de amilosa presente en el almidón, la cual actúa como diluyente e inhibe el hinchamiento, especialmente en la presencia de lípidos, los cuales forman complejos insolubles con la amilosa durante el hinchamiento y gelatinización (Oladebeye *et al.*, 2009; Tester y Karkalas, 1996; Zeleznak y Hosney, 1987). Lo anteriormente mencionado está de acuerdo con la mayor cantidad de lípidos presente en la harina de avena (Cuadro 1). En ciertos alimentos, como los pudines, se requiere la funcionalidad del poder de hinchamiento y solubilidad para impartir textura y consistencia en los rellenos para productos de panificación.

Viscosidad aparente. En la Figura 2 se muestra el resultado de la viscosidad aparente de la harina a diferentes concentraciones. Estas concentraciones son las más utilizadas en la industria alimentaria para lograr los efectos de viscosidad en la textura de alimentos. Se observó un aumento gradual a medida que se incrementó la concentración de la harina en la dispersión, oscilando desde 0.40 mPa.s para la dispersión de harina al 1% (p/v), hasta un valor de 5.7 mPa.s para la dispersión al 6% (p/v). No se observaron diferencias significativas entre las viscosidades de las dispersiones elaboradas al 3 y 4%. Los incrementos en los valores de viscosidad aparente entre las dispersiones están directamente asociados al mayor contenido de fibra en las concentraciones mayores debido a la presencia de β -glucanos (datos no mostrados) los cuales están involucrados con los incrementos de viscosidad en diversas actividades fisiológicas en el tracto digestivo (Wood *et al.*, 1994; Dikeman y Fahey, 2006; Regand *et al.*, 2011).

Figura 2. Resultado de la viscosidad aparente (a 600 s^{-1}) en las dispersiones de harina de avena. Valores de viscosidad con letras iguales en las barras de error estándar no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



Nuestros resultados son comparables con los recientemente reportados por otros investigadores en muestras de harinas comerciales de trigo, cebada de grano entero y harina integral de centeno (Rieder *et al.*, 2015) y en harinas integrales de seis cultivares de avena (Polar, Akt, Cakco, STH, STH7505, STH 6905) originarias del país de Polonia (Zarzycki y Sobota, 2015). En términos generales, estos resultados de viscosidad sugieren que la harina cv Bachiniva

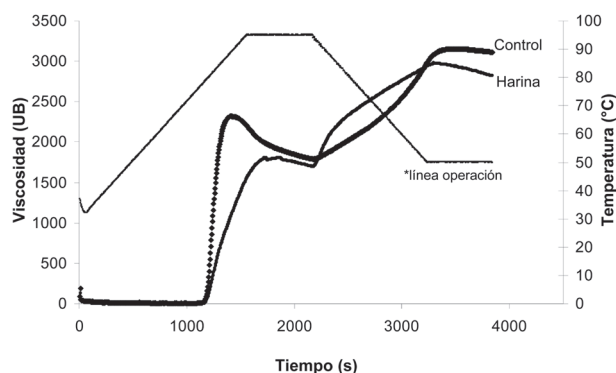
podría encontrar aplicaciones en alimentos que requieren de una viscosidad y consistencia necesaria en la textura, como pueden ser pudines y formulaciones lácteas infantiles.

Perfil amilográfico o de formación de pastas.

Los resultados obtenidos del perfil amilográfico mostraron que durante la etapa de calentamiento (30 a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$) se presentó, tanto en la muestra como en el control, un aumento gradual de la viscosidad (UB) hasta obtener el valor máximo (viscosidad máxima o pico máximo) (Figura 3). El valor de viscosidad máxima fue de 2350 UB para la muestra control y de 1750 UB para la harina de avena. Estas diferencias se debieron a que la harina de avena presentó otros compuestos además de almidón, como las proteínas, lípidos y fibra (Cuadro 1), los cuales pudieron interferir en el proceso de solubilización e hidratación del almidón. Thebaudin *et al.* (1998) observaron que, cuando el almidón es calentado en exceso de agua, sus granos son hinchados y al mismo tiempo parte de sus componentes son solubilizados, provocando un aumento en el hinchamiento y la suspensión de partículas dispersadas en la fase continua.

En general se observó que la harina de avena no siguió el comportamiento atribuible a una muestra amilácea, en la cual se puede apreciar la curva de viscosidad máxima, el descenso de esta viscosidad por el efecto de la gelatinización del almidón y un posterior incremento en la viscosidad debida a la retrogradación de la amilosa (el cual se conoce como *set back*).

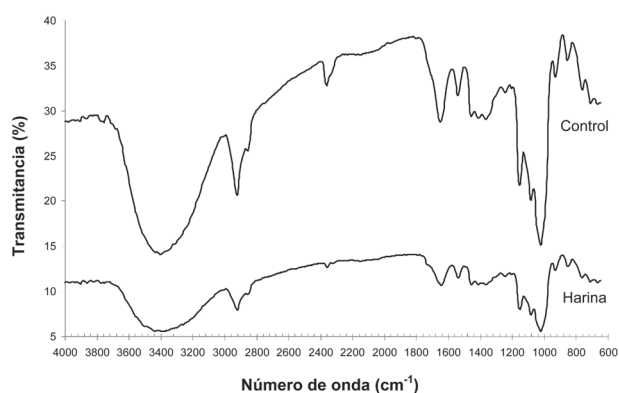
Figura 3. Perfil de formación de pasta obtenido mediante la técnica de micro-Viscoamilografía en la harina de avena y control. *La línea de operación se refiere a las condiciones de programación del equipo.



Las propiedades de formación de pastas son influidas por la cantidad de componentes lixiviados de almidón (amilosa), por el contenido de lípidos presentes en el almidón y por la magnitud de la interacción entre las cadenas dentro del gránulo de almidón (Liu *et al.*, 2010). Diversos estudios han reportado que la cantidad de componentes no amiláceos (que no conforman o son parte del almidón, como la amilosa y la amilopectina), como son los tipos de fibra, pueden influir en el comportamiento final del perfil de formación de pastas (Doublrier *et al.*, 1987; Liu *et al.*, 2006; Kaur y Singh, 2007). Recientemente, Ovando-Martínez *et al.* (2013) reportaron un comportamiento similar a nuestro estudio en muestras de harinas de avena desnuda (*Avena sativa* L. cv Ebeltoft). Para aplicaciones prácticas, estos resultados indicaron que la harina de avena puede ser utilizada en formulaciones alimenticias que requieran cierta textura y sin la presencia de gluten, como pueden ser algunos tipos de pudines y panes para enfermos celíacos.

Caracterización molecular. Este estudio es importante debido a que representa un método cualitativo y cuantitativo para la determinación de los componentes principales asociados a las estructuras, además de ser confiable y relativamente rápido (Olsen, 1990). El resultado del espectro de infrarrojo con transformada de Fourier mostró las bandas típicas de absorción características de la estructura del almidón y la presencia de otros materiales, lo cual corroboró que se trata de una muestra de harina con un porcentaje de almidón de $\approx 70\%$ (Figura 4). Las bandas de absorción a 3293 cm^{-1} son debidas al estiramiento vibracional de los enlaces O-H. Usualmente, el intervalo de absorción para la vibración del enlace O-H está localizado en los valores de $3700\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$, pero en la muestra de la harina, el pico de estiramiento del enlace O-H cambió a una menor longitud de onda (Yaacob *et al.*, 2011). Esto se debió probablemente a que los enlaces de hidrógeno intermoleculares en el anillo glucosídico debilitaron el enlace O-H, por lo tanto cambiaron la región de la banda de absorción a una frecuencia menor, entre $3400\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$.

Figura 4. Espectro de infrarrojo con transformada de Fourier de harina de avena y control.



La absorción débil a 1627 cm^{-1} para la muestra control, probablemente son rasgos de las moléculas de agua fuertemente ligadas que están presentes en las moléculas de almidón. La señal encontrada en el número de onda de 1333 cm^{-1} pertenece al estiramiento simétrico de $-\text{CH}_2$. Las amplias bandas de absorción en el intervalo de $1100\text{--}990\text{ cm}^{-1}$, son características del estiramiento C-O en la estructura C-O-C y en C-O-H del anillo glicosídico del almidón. Adicionalmente, las bandas amplias y las débiles encontradas en el intervalo de $930\text{--}600\text{ cm}^{-1}$, son probables incrementos de las frecuencias en la deformación del enlace O-H y C-H, como reportaron Ahmad *et al.* (1999).

Conclusiones


La harina del cereal de avena (cv. Bachíniva) presentó una alta cantidad de lípidos, proteínas, fibra dietaria y almidón. La temperatura y la entalpía de gelatinización fueron comparables con los valores reportados en otras variedades de avenas. El perfil amilográfico, la viscosidad y las propiedades funcionales indicaron una posible interacción entre los compuestos no amiláceos y el almidón, lo cual se corroboró con el análisis molecular. Debido a sus características fisicoquímicas, reológicas y funcionales, esta harina puede ser empleada en la industria alimentaria para la producción de pudines, formulaciones infantiles y panes para enfermos celíacos, lo cual la posicionan como un alimento de importancia nutritiva.

Agradecimientos

Flavia Yadira Lozano Quezada agradece la beca otorgada por el CONACYT. Se agradece además al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Chihuahua, por financiar el presente trabajo, el cual forma parte del proyecto titulado: «Obtención de un alimento funcional a partir de almidón resistente por modificación física y química del almidón de avena cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua», con clave CHIH-2009-C02-126281. Agradecemos a la empresa «Avenas del Norte» localizada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua por su generosa aportación del cereal de avena.

Literatura citada

- AYADI, F., C. Bliard and P. Dole. 2011. Materials based on maize biopolymers: Effect of flour components on mechanical and thermal behavior. *Starch/Stärke* 63: 604-615.
- AHMAD, F., P. Williams, J. Doublier and S. Durand. 1999. Physicochemical characterization of sago starch. *Carbohydrate Polymers* 38: 389-416.
- ÅRMAN, P. 1987. The variation in chemical composition of Swedish oats. *Acta Agriculturae Scandinavica* 37: 347-352.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2002. Official Methods of Analysis. Gaithersburg, MA, USA.
- APARICIO-SAGUILÁN, A., E. Flores-Huicochea, J. Tovar, F. García-Suárez, F. Gutiérrez-Meraz and L. A. Bello-Pérez. 2005. Resistant starch –rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: Partial characterization. *Starch/Stärke* 57: 405-412.
- BELLO-PÉREZ, L. A., Y. Pano de León, E. Agama-Acevedo and O. Paredes-López. 1998. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. *Starch/Stärke* 50: 409-413.
- BERSKI, W., A. Ptaszek, P. Ptaszek, R. Ziobro, G. Kowalski, M. Grzesik and B. Achremowicz. 2011. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. *Carbohydrate Polymers* 83: 665-671.
- CHÁVEZ-MURILLO, C. E., G. Méndez-Montealvo, Y. –J. Wang and L. A. Bello-Pérez. 2012. Starch of diverse Mexican rice cultivars: Physicochemical, structural, and nutritional features. *Starch/Stärke* 64: 745-756.
- DIKEMAN, C. L. and G. C. Fahey. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science Nutrition* 46(8): 649-663.
- DOUBLIER, J. L., D. Paton and G. Llamas. 1987. A rheological investigation of oat starch pastes. *Cereal Chemistry* 64(1): 21-26.
- FOX, E., K. Shotton and C. Ulrich. 1995. Sigma-Stat: Manual del usuario, versión 2.1 para Windows 95 NT y 3.1. Editorial Jandel Scientific Co. EUA.
- GALDEANO, M., M. V. E. Grossman, S. Mali and L. A. Bello-Pérez. 2009. Physicochemical properties of IAC 7 oat starch from Brazilian cultivars. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 29(4): 905-910.
- GLENNIE-HOLMES, M., G. L. Roberts and T. S. Gibson. 1992. Starch characteristics of Australian oat cultivars. In: Barr A.R. (ed.). Proceedings 4th International Oat Conference Adelaide, South Australia. 31 p.
- GOÑI, I., A. García-Alonso and F. Saura-Calixto. 1997. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutritional Research* 17: 427-437.
- HALLFRISCH, J. and K. M. Behall. 2000. Mechanisms of the effects of grains on insulin and glucose response. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 320S-325S.
- HARTUNIAN-SOWA, M. and White, P. J. 1992. Characteristics of starch isolated from oats groats with different amount of lipid. *Cereal Chemistry* 68: 172-177.
- HOOVER, R. and S. P. J. N. Senanayake. 1996. Composition and physicochemical properties of oat starches. *Food Research International* 29(1): 15-26.
- HOOVER, R. and W. S. Ratnayake. 2003. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry* 78: 489-498.
- HOOVER, R., C. Smith, Y. Zhou and R. M. W. S. Ratnayake. 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. *Carbohydrates Polymers* 52(1): 253-261.
- HOOVER, R., T. Hughes, H. J. Chung and Q. Liu. 2010. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International* 43: 399-413.
- HUIJBRECHTS, A. M. L., M. Desse, T. Budtova, M. C. R. Franssen, G. M. Visser, C. G. Boeriu and J. R. E. Sudh-Iter. 2008. Physicochemical properties of etherified maize starches. *Carbohydrate Polymers* 74: 170-184.
- KAUR, M. and N. Singh. 2007. Relationships between various functional, thermal and pasting properties of flours from different Indian black gram (*Phaseolus mungo* L.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 974-984.
- LIU, Q., E. Donner, Y. Yin, R. L. Huang and M. Z. Fan. 2006. The physicochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legumes grown in China. *Food Chemistry* 99(3): 470-477.
- LIU, Y., T. H. Bailey and P. J. White. 2010. Individual and interactional effects of α -glucan, starch, and protein on pasting properties of oat flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 9198-9203.
- MORRIS, P. C. and J. H. Bryce. 2000. Cereals: an introduction. In: P.C. Morris and J.H. Bryce (eds.). *Cereal biotechnology*. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 7.
- MUA, J. P. and D. S. Jackson. 1995. Gelatinization and solubility properties of commercial oat starch. *Starch/Stärke* 47(1): 2-7.
- NODA, T., Y. Takahata, T. Sato, I. Suda, T. Morishita, K. Ishiguro and O. Yamakawa. 1998. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and Buckwheat. *Carbohydrates Polymer* 37: 153-158.
- OLADEBEYE, A. O., A. A. Oshodi and A. A. Oladebeye. 2009. Physicochemical properties of starches of sweet potato (*Ipomea batata*) and red cocoyam (*Colocasia esculenta*) cormels. *Pakistan Journal of Nutrition* 8(4): 313-315.
- OLSEN, E. D. 1990. Métodos Ópticos de Análisis. Editorial Reverté, S.A. 678 p.
- OVANDO-MARTÍNEZ, M., K. Whitney, B. L. Reuhs, D. C. Doehlert and S. Simsek. Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch. *Food Research International* 52: 17-25.
- PAREDES-LÓPEZ, O., L. A. Bello-Pérez and M. G. López. 1994. Amylopectin: Structural gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry* 50: 411-418.
- PATON, D. 1977. Oat starch 1. Extraction, purification and pasting properties. *Starch/Stärke* 29(5): 149-153.
- PATON, D. 1979. Oat starch: Some recent developments. *Starch/Stärke* 31(6): 184-187.

- REGAND, A., Z. Chowdhury, S. M. Tosh, T. M. S. Wolever and P. Wood. 2011. The molecular weight, solubility and viscosity of oat beta-glucan affect human glycemic response by modifying starch digestibility. *Food Chemistry* 129: 297-304.
- RIEDER, A., S. Ballance and S. H. Knutsen. 2015. Viscosity based quantification of endogenous α -glucanase activity in flour. *Carbohydrate Polymers* 115: 104-111.
- SAGARPA. 2010. Producción Agrícola. Servicio de Formación Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). [En línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>. Accesado el 20 de Febrero del 2013.
- SALMERÓN, Z. J. J. 2002. Bachiniva: nueva variedad de avena para temporal con grano de alta calidad industrial. *Agricultura Técnica en México* 28(1): 85-86.
- STEFFE, J. F. 1992. Rheological Methods in the Food Process Engineering. Freeman Press. East Lansing. Michigan. 418 p.
- TESTER, R. F. and J. Karkalas. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry* 78: 271-273.
- THEBAUDIN, J. Y., A. C. Lefebvre and J. L. Doublier. 1998. Rheology of starch pastes from starches of different origins: Applications to starch-based sauces. *LWT Food Science and Technology* 31: 354-360.
- VON ATZINGEN, M. C. and M. E. Silva Machado Pinto. 2005. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(5): 319-323.
- WALPOLE, E. R., H. R. Myers y L. S. Myers. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Sexta Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 482 p.
- WANG, L. Z. and P. J. White. 1994. Functional properties of oats starches and relationships among functional and structural characteristics. *Cereal Chemistry* 71(5): 451-458.
- WELCH, R. W. 1995. Oats in human nutrition and health. In: R. W. Welch (ed.). *The oat crop: production and utilization*. Chapman and Hall, London, UK. p. 433-471.
- WOOD, P. J. 2007. Cereal α -glucans in diet and health. *Journal of Cereal Science* 46: 230-238.
- WOOD, P. J., J. T. Braaten, F. W. Scott, K. D. Riedel, M. S. Wolynetz and M. W. Collins. 1994. Effect of dose and modification of viscous properties of oat gum on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *British Journal of Nutrition* 72(5): 731-743.
- YAACOB, B., M. C. I. Mohd Amin, K. Hashim and B. A. Bakar. 2011. Optimization of reaction conditions for carboxymethylated sago starch. *Iranian Polymer Journal* 20(3): 195-204.
- ZARZYCKI, P. and A. Sobota. 2015. Effect of Ph on apparent viscosity of wholemeal oat flour water dispersions. *International Journal of Food Properties* 18: 303-315.
- ZELEZNAK, K. J. and R. C. Hosney. 1987. The glass transition in starch. *Cereal Chemistry* 64: 121-124. 

Este artículo es citado así:

Flores-Peña, F., F. Y. Lozano-Quezada, A. Ramos-Martínez, R. Salgado-Delgado, V. M. Guerrero-Prieto, S. Ramírez-Mancinas, L. A. Bello-Pérez y P. B. Zamudio-Flores. 2014. Caracterización fisicoquímica, reológica y funcional de harina de avena (*Avena sativa* L. cv Bachiniva) cultivada en la región de Cuauhtémoc, Chihuahua. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3): 152-162.

Resumen curricular del autor y coautores

FERNANDO FÉLIX FLORES PEÑA. Cursó la carrera de Ingeniero en Industrias Alimentarias en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc (ITCC). Realizó su residencia profesional y posteriormente la tesis de Licenciatura en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) en la Unidad Cuauhtémoc, Chihuahua bajo la dirección del Dr. Paul Baruk Zamudio Flores, con la tesis titulada Obtención de harina de avena variedad Bachiniva cultivada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua: Aislamiento y caracterización parcial de su almidón. Estudió la Maestría en Ciencias en Fisiología de Plantas en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua (FACIATEC) en el Campus Cuauhtémoc, bajo la dirección del Dr. Víctor Manuel Guerrero Prieto.

JUAN MANUEL TIRADO GALLEGOS. Realizó estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, obteniendo el título de Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos en el año 2004. Ha impartido cátedras docentes en la UAAAN (2009). Terminó la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Veracruz, en el 2011. En el año 2012 ingreso a estudiar el Doctorado en Ciencias en el laboratorio de Carbohidratos, Empaques y Alimentos Funcionales (CEAF) en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc. Ha colaborado en 4 artículos científicos como coautor y como asesor en 1 tesis de licenciatura.

ARTURO RAMOS MARTÍNEZ. Realizó sus estudios en el Instituto Tecnológico de Ciudad Cuauhtémoc (ITCC), Cuauhtémoc, Chihuahua, obteniendo el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias en el año 2012. Se incorporó en el año 2009 a laborar en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc donde es técnico del laboratorio de Carbohidratos, Empaque y Alimentos Funcionales (CEAF). Ha colaborado en 2 artículos científicos como coautor, y en 4 artículos científicos, 11 tesis de licenciatura y dos de maestría apareció en agradecimientos. Ha sido evaluador y representante del CIAD-Cuauhtémoc en el Instituto de Apoyo al Desarrollo Tecnológico (INADET).

RENÉ SALGADO DELGADO. Terminó su licenciatura en 1994, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero químico por el Instituto Tecnológico de Zacatepec perteneciente a la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST). Realizó la Maestría en Ciencias en Química en el Instituto Tecnológico de Tijuana en el área de Polímeros en 1999 y Obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro en el 2003. Desde 1994 labora dentro del Sistema de Institutos Tecnológicos habiendo impartido cátedras docentes (1994: Instituto Tecnológico de Zacatepec, 1997: Instituto Tecnológico de Tijuana, 1999: Instituto Tecnológico de Querétaro, y a partir del 2002 se reincorpora nuevamente al Departamento de Posgrado del Instituto Tecnológico de Zacatepec y posee la categoría Profesor Investigador de tiempo Completo titular "C". Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde el 2003 (candidato: 2003; Nivel 1: actualmente). Su área de especialización (Licenciatura: Análisis Instrumental; Maestría: Polímeros; Doctorado: Materiales compuestos y aleaciones poliméricas). Ha dirigido 15 tesis de licenciatura, 5 de maestría y 3 de doctorado. Es autor de 15 artículos científicos, más de 20 ponencias en congresos, y 1 capítulo de libros científicos; además ha impartido 20 conferencias por invitación y ha dirigido 5 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos Institucionales, mixtos y sectoriales) y es árbitro de 2 revistas científicas una de circulación nacional y otra de circulación internacional.

VÍCTOR MANUEL GUERRERO PRIETO. Terminó su licenciatura en 1975, año en que le fue otorgado el título de Ingeniero Floricultor por la ahora Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH. Realizó su posgrado en la Oregon State University en Corvallis, OR. EUA, donde obtuvo el grado de Master of Science en Horticultura en 1984 y el grado de Doctor en Ciencias en Agronomía por la New México State University en Las Cruces, N.M. EUA, en 1995. En el año 2011, se reincorporó a FACIATEC en el campus Cuauhtémoc, Chihuahua y posee la categoría de Profesor-Investigador ATA. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986 a 1990 (Candidato a Investigador Nacional) y actualmente es Investigador Nacional Nivel I, desde el 2002. Su área de especialización es la fisiología vegetal y de poscosecha, así como el control biológico de enfermedades poscosecha utilizando microorganismos. Ha dirigido 14 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 6 de doctorado. Es autor de 37 artículos científicos, más de 60 ponencias en congresos, 1 libro y 2 capítulos de libro científicos; además ha impartido 9 conferencias por invitación y ha dirigido 7 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador RCEA de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales), Fundación Produce Chihuahua, es revisor del seguimiento de los Fondos sectoriales SAGARPA-CONACYT y del CyTED, Madrid, España y es árbitro de 9 revistas científicas de circulación nacional e internacional.

PAUL BARUK ZAMUDIO FLORES. Realizó sus estudios de Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Acapulco, Acapulco (ITA), Guerrero, obteniendo el título de Ingeniero Bioquímico en el año 2000. Terminó los estudios de Maestría en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI), perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, en Yauhtepec, Morelos, en el 2005. En el año 2008 recibió el grado de Doctor en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos por el CEPROBI-IPN en Yauhtepec, Morelos. Durante su trayectoria académica ha obtenido múltiples reconocimientos por alto desempeño académico. Ha sido distinguido por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACYT como Investigador Nacional Nivel 1 desde el año 2010 a la fecha. Ha tenido una importante productividad científica, que incluye la publicación de 28 artículos científicos en revistas internacionales, así como la publicación de diversos artículos de divulgación y capítulos de libros de editoriales internacionales reconocidas. Es evaluador RCEA de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos institucionales, mixtos y sectoriales), y es árbitro de 6 revistas científicas indicadas de circulación nacional e internacional. Actualmente es Investigador del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Unidad Cuauhtémoc, donde es responsable del laboratorio y líder del Grupo de Investigación (GI) en Carbohidratos, Empaque y Alimentos Funcionales (CEAF). Su área de investigación se enfoca en carbohidratos, empaques y alimentos funcionales.