

Efecto de la adición de almidón resistente tipo 3 de avena en las propiedades viscoelásticas de la masa y su influencia sobre la calidad de galletas

Effect of the addition of oat resistant starch type 3 on the viscoelastic properties of the dough and its influence on the quality of cookies

José Gabriel Monter-Miranda¹, Paul Baruk Zamudio-Flores^{1*}, Miguel Espino-Díaz¹, Juan Manuel Tirado-Gallegos², J Rodolfo Rendón-Villalobos³, Francisco Hernández-Centeno⁴, María Hernández-González⁴, Haydee Yajaira Lopez-De la Peña⁴, Gilber Vela-Gutiérrez⁵, René Salgado-Delgado⁶, Adalberto Ortega-Ortega⁷

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C.-Unidad Cuauhtémoc, Av. Río Conchos S/N, Parque Industrial, C.P. 31570 Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

² Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada km. 1, C.P. 31453, Chihuahua, Chihuahua, México.

³ Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, Calle Ceprobi No. 8, Colonia San Isidro, C.P. 62731, Yautepec, Morelos, México.

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. División de Ciencia Animal. Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

⁵ Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos Funcionales, Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente 1150. Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29000.

⁶ Instituto Tecnológico Nacional/Instituto Tecnológico de Zacatepec, Posgrado-Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos, México, C.P. 62780.

⁷ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Extensión Cuauhtémoc, Barrio de la presa s/n, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México, C.P. 31510.

RESUMEN

El almidón resistente (AR) es una fracción del almidón no digerible por las α -amilasas y a diferencia de la fibra dietética, el AR es fermentado en el colon promoviendo beneficios en la salud. Dentro de los diferentes tipos de AR, el tipo 3 (AR3) se obtiene por autoclaveado y sin el uso de agentes químicos. El objetivo de este estudio fue obtener AR3 a partir de avena y evaluar su efecto a diferentes concentraciones (0, 5, 10, 15 y 20 %, p/p) sobre las propiedades reológicas de la masa, propiedades de textura de las galletas y su aceptabilidad sensorial. El análisis de perfil de textura (TPA) evidenció un incremento en la fracturabilidad, dureza, adhesividad y gomosidad. La incorporación de AR3 incrementó el módulo elástico (G') y viscoso (G'') en comparación con la masa control. Todos los tratamientos presentaron comportamiento elástico ($G' > G''$). La dureza en las galletas aumentó con la concentración de AR3, con valores de ≈ 8 N (control) hasta 20 N (AR3-20 %). Las pruebas sensoriales no fueron significativas entre tratamientos, aunque las galletas AR3-20 % tuvieron mayor preferencia. La adición de AR3 en la masa provocó cambios funcionales y de textura significativos que afectaron positivamente los atributos de calidad de las galletas.

Palabras clave: Almidón resistente; Autoclaveado; Avena; Galletas.

ABSTRACT

Resistant starch (RS) is a portion of starch that is not digestible by α -amylases and unlike dietary fiber, RS is fermented in the colon, promoting health benefits. Among the different types of RS, type 3 (RS3) is obtained by autoclaving and without chemical agents. The objective of this work was to obtain RS3 from oats and to evaluate its effect at different concentrations (0, 5, 10, 15 and 20 % w/w) on the rheological properties of the dough, textural properties of the cookies and their sensory acceptability. Texture profile analysis (TPA) showed an increased fracturability, hardness, adhesiveness and gumminess. The incorporation of RS3 increased the elastic (G') and viscous (G'') modulus compared to the control dough. All treatments showed elastic behavior ($G' > G''$). Hardness in cookies increased with RS3 concentration, with values from ≈ 8 N (control) to 20 N (RS3 - 20 %). Sensory tests were not significant between treatments, although RS3-20 % cookies had a higher preference. The addition of RS3 in the dough caused significant functional and textural changes that positively affected the quality attributes of the cookies.

Keywords: Resistant starch; Autoclaving; Oat; Cookies.

INTRODUCCIÓN

Las galletas se consideran uno de los alimentos de mayor gusto y popularidad a nivel mundial (Kaur *et al.*, 2019), ya que son productos con mayor vida de anaquel, listos para comer, de fácil disponibilidad y gran versatilidad (Lee *et al.*, 2016; Agrahar-Murugkar *et al.*, 2018). Debido a que las galletas contienen harina, grasa o mantequilla, huevo y azúcar, la interacción entre todos estos componentes durante el mezclado puede afectar las propiedades viscoelásticas (poseen propiedades viscosas como los fluidos y elásticas como los sólidos). Por lo anterior, un análisis reológico provee información que ayuda a entender mejor la estructura de estos componentes (Tecante, 2001; Singh *et al.*, 2003). En este sentido, las pruebas dinámicas son comúnmente utilizadas para evaluar los cambios en los módulos elástico (G') y viscoso (G'') de la muestra con respecto a la deformación y a la frecuencia aplicada mediante un movimiento oscilatorio de baja amplitud del esfuerzo (Núñez-Santiago *et al.*, 2001; Villanueva *et al.*, 2018).

Actualmente, existe un mayor interés por la adición de ingredientes funcionales como la fibra dietaria y la inclusión de almidón resistente (AR) en productos horneados (Giuberti *et al.*, 2017; Kahraman *et al.*, 2019). La ingesta de estos alimentos funcionales puede beneficiar la salud humana y en el tratamiento de diversas patologías crónico-degenerativas (diabetes mellitus, problemas cardiovasculares y algunos tipos de cáncer) (Nugent, 2005; Ashwar *et al.*, 2016). El AR se refiere a la porción de almidón y productos de almidón que resisten el ataque de las enzimas digestivas y siguen su tránsito a través del tracto gastrointestinal (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010). Sus beneficios en la salud humana van desde la prevención de cáncer de colon, control de la respuesta glucémica, mejoramiento de la salud intestinal, incremento de la saciedad hasta mejoramiento del perfil de lípidos en sangre (Nugent, 2005; Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010). Englyst *et al.* (1992) clasificaron al AR en 4 categorías, dependiendo de la resistencia a la digestión enzimática, en este sentido el almidón resistente tipo 3 (AR3) se refiere a las moléculas de almidón retrogradadas que no son capaces de unirse al sitio activo de las enzimas α -amilasas (Wong y Louie, 2016). Una de las principales ventajas del AR3 es que no se requieren reactivos químicos para su obtención, ya que se puede obtener por autoclaveado. Existe gran interés por la incorporación de AR3 en diversos alimentos, incluyendo las galletas. Al respecto, Aparicio-Saguilán *et al.* (2007) elaboraron una galleta adicionada con AR (obtenido de un tratamiento de hidrólisis ácida y autoclaveado a partir de almidón nativo de plátano) y comprobaron su idoneidad en cuanto a sus propiedades funcionales y a la reducción significativa del índice glicémico (IG). Recientemente, Giuberti *et al.* (2017) reportaron que la incorporación de AR a galletas elaboradas con harina de arroz, es viable y que algunos AR presentan adecuadas propiedades para incrementar el contenido de fibra total. El almidón se obtiene principalmente de fuentes convencionales como el maíz y la papa; sin embargo, existe un gran interés por almidones obtenidos a partir de fuentes

sub-utilizadas o no convencionales que puedan ofrecer propiedades funcionales similares o superiores a las encontradas en almidones de fuentes convencionales (Zhang *et al.*, 2016). En este sentido, la avena es una fuente sub-utilizada de almidón (55 a 63.5 %) ampliamente cultivada en el Noroeste de México (Zamudio-Flores *et al.*, 2015). Por tal razón, el objetivo del presente estudio consistió en evaluar el efecto de diferentes concentraciones de AR3 (obtenido de almidón nativo de avena) en las propiedades viscoelásticas y de textura de una masa para galletas y en determinar su influencia en la dureza y las propiedades sensoriales de las galletas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron cuatro lotes de 10 kg de avena (*Avena sativa* cv Cuauhtémoc) descascarillados, en estado seco (maduro) los cuales se adquirieron de la compañía Avenas del Norte S.A. de C.V. ubicada en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Todos los reactivos químicos utilizados para el análisis químico proximal y en la modificación del almidón fueron de grado alimenticio adquiridos en Sigma-Aldrich, Co. (Toluca, Estado de México, México). Para la elaboración de las galletas se utilizaron harina de trigo "El globo", mantequilla LALA sin sal, margarina Elgine, azúcar glass Dulza mía y huevos Bachoco los cuales se adquirieron en una tienda de supermercado (Al Súper, S.A. de C.V.) en Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Métodos

Obtención de la harina de avena y aislamiento de su almidón

Para la obtención de la harina de avena se utilizó la metodología reportada por Zamudio-Flores *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Para lo cual los granos de avena se sometieron a una molienda húmeda en una licuadora de 500 W (Oster Designer, modelo M4127-13, Sunbeam Products Inc., Boca Raton, FL, EUA) a máxima velocidad durante 3 min. Posteriormente, el producto de la molienda se filtró manualmente en un tamiz con tamaño de poro de $\approx 100 \mu\text{m}$, el filtrado obtenido se dejó reposar durante 24 h en contenedores de vidrio. Se realizó un primer lavado, se agitó vigorosamente hasta lograr una muestra homogénea, que se dejó reposar durante 24 h para nuevamente lavar el precipitado. Este paso se repitió 2 veces más. Después del último lavado, se procedió a vaciar el contenido de los contenedores de vidrio en charolas de aluminio, dejando capas delgadas, para después someterlas a un secado continuo durante 48 ± 4 h a una temperatura de 35°C . Una vez que estuvo seca la pasta, se molió en un mortero y se tamizó manualmente una malla mediana (1 mm) para homogeneizar el tamaño de partícula, obteniendo así la harina de avena.

El almidón nativo (AN) se aisló a partir de la harina de avena utilizando la metodología anteriormente citada por Zamudio-Flores *et al.* (2015). Para esto se formó una dispersión de harina al 35 % con agua destilada y bajo agitación

constante en un agitador (IKA, modelo RW 20 DSI, Staufen, Alemania) a 200 rpm y se ajustó el pH a 9 con NaOH 1 M. La harina se dejó reposar durante 24 h y se realizaron 3 lavados consecutivos en intervalos de 24 h y posteriormente se filtró manualmente a través de una malla de 70 μm . El producto de la filtración se ajustó a pH 7 con HCl 1 N y se dejó reposar por 24 h, repitiéndose este paso con 3 lavados sucesivos. El producto obtenido se secó a 35 °C por 72 h en una estufa de convección forzada (FinePCR, modelo combi-SV12DX, Daigger, Vernon Hills, IL, EUA), se molió en un mortero de porcelana y se tamizó manualmente en un tamiz de 0.150 mm para obtener uniformidad en las partículas.

Preparación del almidón resistente tipo 3 (AR3)

El AR3 se obtuvo a partir de la muestra de almidón extraída de la harina de avena, utilizando el método propuesto por Berry (1986). Se pesaron 60 g (en base seca) de almidón y se mezclaron con 210 mL de agua. La dispersión de almidón se sometió a calentamiento en autoclave a 121 - 127 °C durante 1 h; posteriormente se dejó enfriar y se almacenó a 4 °C por 24 h. Este proceso se repitió tres veces. Finalmente, la muestra se sometió a un proceso de liofilización en un liofilizador (Labconco, modelo Freezone 6, Kansas City, MO, EUA) y posteriormente, se molió en un molino (corte/impacto) universal de 550 Watts (IKA, modelo M 20, Staufen, Alemania) con una velocidad máxima de 20,000 rpm hasta que pasó a través de un tamiz de 0.150 mm.

Evaluación del color de la harina, almidón nativo, AR3 y galletas

El color de la harina, los almidones (nativo y AR3) y las galletas se determinó con un colorímetro Minolta (Modelo CR-300, Osaka, Japón), utilizando el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*). Las mediciones del color se realizaron por quintuplicado para cada muestra.

Determinación de almidón total (AT)

La determinación de almidón total (AT) se realizó utilizando el kit de Megazyme, mediante el método oficial 76-13.01 de la AACC (2000). Para la determinación de AT se pesaron 100 mg de muestra en un tubo de centrifuga y se agregaron 0.2 mL de etanol al 80 %. La mezcla se agitó durante 18 h a 4 °C y luego se le adicionaron 8 mL de búfer de acetato de sodio 1.2 M (pH = 3.8). Después se agregaron 0.1 mL de α -amilasa termoestable y 0.1 mL de amiloglucosidasa. La mezcla se colocó en un baño de agua a 50 °C durante 30 min con agitación constante, se dejó enfriar a temperatura ambiente, y finalmente se centrifugó a 1,800 $\times g$ durante 10 min. El sobrenadante se transfirió a un matraz y se realizaron dos lavados con 10 mL de agua destilada. De la mezcla resultante se tomaron alícuotas de 0.1 mL que se colocaron en tubos de vidrio por triplicado. La determinación de glucosa se realizó leyendo la densidad óptica de las muestras a 510 nm en un espectrofotómetro Spectronic Genesis 5 (Spectronic Instrument, Inc. Rochester, NY, EUA).

Determinación de almidón disponible (AD)

La determinación de AD se realizó de acuerdo con el método reportado por Holm *et al.* (1989). Se pesaron 500 mg de muestra y se le agregaron 20 mL de agua destilada. La mezcla se agitó durante 10 min y posteriormente se agregaron 100 μL de Termamyl. La mezcla se colocó en baño a ebullición durante 20 min, con agitación cada 5 min, después de lo cual se dejó reposar hasta lograr una temperatura de 30 - 40 °C y se transfirió a un matraz aforado de 100 mL. En un tubo de vidrio se colocaron 1 mL de solución amortiguadora de acetato de sodio (pH 4.75), 25 μL de amiloglucosidasa y 500 μL de muestra del matraz aforado de 100 mL, los cuales se incubaron por 30 min a 60 °C con agitación constante. El contenido del tubo se pasó a un matraz aforado de 10 mL y se tomaron 50 μL de la muestra para determinar la glucosa liberada por digestión enzimática, mediante el método GOD/PAD (glucosa/oxidasa peroxidasa), leyendo la densidad óptica de las muestras a 510 nm en un espectrofotómetro Spectronic Genesis 5 (Spectronic Instrument, Inc Rochester, NY, EUA).

Determinación de almidón resistente

Para la determinación de almidón resistente (AR), sin importar su tipo; en las muestras amiláceas se utilizó la metodología reportada por Goñi *et al.* (1996), la cual permite determinar el contenido de almidón indigerible. Se pesaron 100 mg de muestra en un tubo de centrifuga, se agregaron 10 mL de solución amortiguadora de KCl-HCl (pH 1.5) y posteriormente se agregaron 200 μL de solución de pepsina (la solución de pepsina se preparó en una relación de 25 mg de pepsina con 250 μL de buffer KCl-HCl por muestra). La muestra se mezcló y se puso en agua a 40 °C durante 60 min con agitación constante. Después se dejó reposar a temperatura ambiente y se adicionaron 9 mL de solución amortiguadora de trismaleato (pH 6.9) y posteriormente. Se adicionaron 40 mg de α -amilasa y se mezcló e incubó por 16 h en baño María a 37 °C con agitación constante, para después centrifugar la muestra durante 15 min a 3000 $\times g$ a 4 °C. Se descartó el sobrenadante y se lavó 2 veces con 10 mL de agua destilada, se centrifugó nuevamente y se descartó el sobrenadante. Posteriormente se adicionaron 3 mL de agua destilada y 3 mL de KOH 4 M, preparado ese mismo día, y se dejó reposar por 30 min a temperatura ambiente con agitación constante. Se adicionaron 5.5 mL de HCL 2 M y 3 mL de solución amortiguadora de acetato de Na 0.4 M (pH 4.75) y 25 μL de amiloglucosidasa, e inmediatamente se colocaron durante 45 min en baño de agua a 60 °C con agitación constante. La muestra se centrifugó por 15 min a 3000 $\times g$ a 4 °C y el sobrenadante se recolectó y se aforó a 50 mL. El residuo se lavó dos veces más con 10 mL de agua destilada en cada ocasión y el sobrenadante se combinó con el obtenido previamente. Después se aforó a 50 mL y se tomaron 50 μL de muestra para determinar la glucosa liberada por digestión enzimática, mediante el método GOD/PAD (glucosa/oxidasa peroxidasa), leyendo las densidades ópticas de las muestras a 510 nm.

Preparación de las galletas

Para evaluar el efecto del AR3 en la elaboración de galletas, se utilizó masa para los siguientes tratamientos: Masa con 100 % de harina de trigo (control), y masas en las que se sustituyó el 5, 10, 15 y 20 % en peso de la harina de trigo por AR3, para los tratamientos con la nomenclatura de AR3-5 %, AR3-10 %, AR3 - 15 % y AR3 - 20%, respectivamente. Para la elaboración de las galletas se colocaron la mantequilla (16 %, p/p) y la margarina (16 %, p/p) en el tazón de una batidora de pedestal (Modelo Mixmaster 2700, Marca Oster, Tlanepilantla, Estado de México) y se batieron a la velocidad media durante 5 min (velocidad 4). Después de 5 min se redujo la velocidad (velocidad 1) durante otros 5 min, agregando azúcar glass (16 %, p/p) en pequeñas cantidades. Después de este tiempo se agregaron yemas de huevo (2 % p/p), posteriormente se agregó la harina de trigo (sin AR3, llamado control) o con la proporción correspondiente de AR3 para cada tratamiento, y se dejó 1 min más a velocidad lenta para que se mezclara la harina y las yemas, obteniéndose la masa para las galletas. La masa se envolvió en plástico y se aplanó con un rodillo hasta presentar un grosor uniforme de 1 cm. Para la elaboración de las galletas, las masas se cortaron con moldes de aluminio de diferentes figuras, y se colocaron en charolas de aluminio las cuales se metieron en el horno de una estufa industrial CORIAT (modelo EC-4HM, marca Servinox, Compañía Institucional de Muebles de Acero, S.A. de C.V., Ciudad de México, México) con temperatura constante de 160 °C durante 20 - 25 min. Se sacaron las charolas y las galletas se dejaron enfriar a temperatura ambiente (20 ± 5 °C) por al menos 10 min.

Características viscoelásticas de la masa para galletas

Las pruebas reológicas oscilatorias dinámicas se utilizaron para determinar las propiedades viscoelásticas de la masa utilizada para la elaboración de las galletas. Estas se realizaron mediante un reómetro con control del esfuerzo AR1500ex (TA Instruments, New Castle, DE, EUA) equipado con un baño de recirculación de agua y una geometría de placas paralelas de acero inoxidable (60 cm de diámetro) y utilizando un gap de 1500 μm . La temperatura se controló con el baño termo-circulador de agua y con la unidad de control de temperatura Peltier. Primeramente, para simular los cambios estructurales que experimenta la masa durante su calentamiento en el horneado, se evaluó el comportamiento de los módulos G'' y G' y su relación G''/G' ($\tan \delta$, también conocido como factor de pérdida) durante el calentamiento de 25 a 85 °C a una velocidad constante de 5 °C/min bajo una deformación constante de 0.5 % (Sinthusamran *et al.* 2019). La temperatura explorada estuvo limitada por las condiciones de operación del baño termostático y de la placa Peltier del reómetro, motivo por el cual no se trabajó a mayor temperatura (> 85 °C). Además, se evaluó la dependencia de las propiedades viscoelásticas (G'' , G' y $\tan \delta$) a 25 y 85 °C en función del tiempo, esfuerzo oscilatorio, barrido de deformación y frecuencia. El barrido del tiempo se realizó durante 15 min bajo una frecuencia constante de 1 Hz. Los barridos del esfuerzo oscilatorio se realizaron a de 0.1 a 10 Pa; mientras

que el barrido de la deformación fue de 0.1 a 10%, ambos experimentos fueron desarrollados a una frecuencia constante de 1 Hz. Posteriormente, se realizó la prueba del barrido de frecuencia de 0.01 a 10 Hz con un esfuerzo de deformación constante (0.5 %). Todos los experimentos se realizaron por triplicado y las desviaciones estándar entre las corridas no excedieron del 5 %.

Textura de la masa para galletas

Para evaluar el efecto de la adición de las diversas concentraciones de AR3 en la textura de la masa, se realizó un análisis de perfil de textura en la masa (TPA) para la determinación de las variables de fracturabilidad, dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad empleando una sonda esférica de 1" de acero inoxidable (código de parte = P/15). Para esta evaluación se utilizaron muestras de masa en forma de cubos (con las medidas de $5 \times 5 \times 5$ cm) al menos por triplicado para cada formulación. Las muestras de masa se comprimieron a un 25 % de su altura inicial. Para evaluar el efecto de la adición de AR3 sobre la dureza de las galletas, también se empleó un análisis de TPA, pero para esto se utilizó una sonda cilíndrica de 1" de aluminio (código de parte = P/25) y únicamente se reportó esta variable (dureza) del TPA. En ambas determinaciones se utilizó un texturómetro TA.XTplus (Stable Micro Systems, Surrey, U.K.) equipado con una celda de carga de 30 kg y ambas pruebas se realizaron a una velocidad de 25 mm/s.

Evaluación sensorial de las galletas

Para la evaluación sensorial se utilizó una prueba de preferencia tipo escalar de acuerdo a la metodología reportada por Utrilla-Coello *et al.* (2011). Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos, donde 9 = gusta muchísimo y 1 = disgusta muchísimo. Se realizó la evaluación sensorial a 51 personas (26 del sexo masculino y 25 del sexo femenino, todas comprendidas entre las edades de 18 a 50 años), a las que previamente se les explicó el protocolo de evaluación. Para la prueba de preferencia, las galletas se colocaron en platos desechables codificados en base a la nomenclatura de tres letras mayúsculas (ABC) en orden aleatorizado.

Análisis estadístico

Los experimentos se realizaron en un diseño completamente aleatorizado. El tamaño de muestra en todos los experimentos realizados fue mínimo de 3 ($n \geq 3$) o se indicó el tamaño en cada experimento. Se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA, $p \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Sigma-Stat, versión 2.03 (Fox *et al.*, 1995). Para las diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey para la comparación de las medias (Walpole *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación fisicoquímica de la harina, almidón nativo y almidón resistente

Análisis químico proximal

Se observó que los contenidos de lípidos, proteínas, cenizas, fibra y humedad disminuyeron significativamente ($p < 0.05$)

en las muestras de almidón nativo (AN) y en la muestra sometida al autoclaveado (AR3) en comparación con la muestra de harina (HA) (Tabla 1). Esto se debió a los tratamientos físicos aplicados a dichas muestras; mientras que el contenido de carbohidratos totales fue mayor en las muestras de AN y AR3. El contenido de proteína fue menor en el AR3 (1.37 %, p/p) respecto al AN (1.64 %); sin que se observaran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre estos, lo cual probablemente se debió a que los tratamientos térmicos reducen el contenido de ciertos aminoácidos (Rehman y Shah, 2005), y como consecuencia, el contenido de proteínas.

Tabla 1. Composición química y determinación enzimática *in vitro* de las fracciones de almidón en las muestras de harina (HA), almidón nativo (AN) y almidón resistente tipo 3 de avena (AR3).*

Table 1. Chemical composition and *in vitro* enzymatic determination of starch fractions in samples of flour (HA), native starch (AN) and oatmeal resistant starch type 3 (AR3).*

Análisis (%)	Muestra		
	HA	AN	AR3
Lípidos	5.85 ± 0.50 ^a	1.26 ± 0.25 ^b	0.85 ± 0.05 ^c
Proteínas ¹	7.10 ± 0.09 ^a	1.64 ± 0.06 ^b	1.37 ± 0.02 ^b
Cenizas	0.51 ± 0.01 ^a	0.19 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.01 ^b
Humedad	7.46 ± 0.06 ^a	6.20 ± 0.11 ^b	3.90 ± 0.01 ^c
Carbohidratos totales ²	86.54 ± 1.15 ^b	97.91 ± 0.28 ^a	97.53 ± 1.11 ^a
Fibra dietaria total	4.65 ± 0.10 ^a	1.16 ± 0.25 ^b	0.53 ± 0.01 ^c
Almidón total	70.15 ± 2.15 ^b	86.70 ± 1.18 ^a	5.28 ± 0.15 ^c
Almidón disponible	25.14 ± 1.11 ^b	98.10 ± 0.21 ^a	1.11 ± 0.17 ^c
Almidón resistente	2.25 ± 0.20 ^b	2.10 ± 0.35 ^b	8.30 ± 0.50 ^a

*Media aritmética de cinco repeticiones ± error estándar. Promedios con letras minúsculas iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

¹Cuantificado por el método Kjendahl. Factor de conversión de N₂ = 5.70.

²Carbohidratos totales obtenidos por diferencia.

*Arithmetic mean of five repetitions ± standard error. Means with the same lowercase letters in the same row are not significantly different ($p > 0.05$).

¹Quantified by the Kjendahl method. N₂ conversion factor = 5.70.

²Total carbohydrates obtained by difference.

El contenido de AR incrementó desde un valor de 2.25 % (para la muestra HA) hasta 8.30 % en la muestra que se sometió a la modificación física de autoclaveado (AR3), lo cual indicó que por medio de la aplicación de esta modificación física a través del tratamiento hidrotérmico por autoclaveado

fue posible incrementar los niveles de almidón resistente. Estos resultados son consistentes con los reportados por otros investigadores en cuanto a la factibilidad de utilizar el proceso físico de autoclaveado para lograr mayores contenidos de almidón resistente (González-Soto *et al.*, 2004; Aparicio-Saguilán *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2010). El porcentaje de almidón resistente sugiere que las muestras contienen almidón con una mayor proporción de amilopectina que de amilosa, ya que se ha reportado que cuando la amilosa supera el 70 %, se obtienen incrementos de almidón resistente superiores al 20 % (Sajilata *et al.*, 2006). Aunque la HA utilizada mostró un contenido de fibra dietética considerable (≈ 4.7 %), se ha reportado que ésta no tiene efecto sobre el rendimiento de almidón resistente (Sajilata *et al.*, 2006).

Evaluación de color

Los resultados de la evaluación de color en la HA y en los almidones (nativo y AR3) se observan en la Tabla 2. El factor de luminosidad (L) incrementó en la muestra de AN y en el AR3 en comparación con la HA, indicando que se obtuvo un material blanco y que el aislamiento fue efectivo (Rutenberg y Solarek, 1984); sin embargo, en la muestra de AR3 se observó una ligera disminución en esta variable en comparación con la muestra de AN. Lo anterior se debió a un factible oscurecimiento del tipo no enzimático producido por la reacción de Maillard, ya que el AR3 se obtuvo de la HA y como se puede observar en la Tabla 1, el contenido de proteínas en la HA fue considerablemente alto, por lo que se favoreció dicha reacción al realizar el proceso de autoclaveado (temperaturas elevadas) y debido a la presencia de grupos carbonilos (extremos reductores de almidón) y grupos aminos (presentes en las proteínas) (Rutenberg y Solarek, 1984; Shepherd *et al.*, 2000; Morris *et al.*, 2004; Akhtar y Dickinson, 2007; O'Regan y Mulvihill, 2010). Diversos investigadores han reportado que durante el aislamiento del almidón a partir de la harina se eliminan algunas impurezas como pueden ser carotenoides, xantofilas, celulosa, lignina y algunos otros pigmentos no determinados que tienden a oscurecer ligeramente la harina (Kuakpetoon y Wang, 2001; Adebowale *et al.*, 2002; Sánchez-Rivera *et al.*, 2005). En las coordenadas a*, b* y en el croma se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla 2. Evaluación de color en harina (HA), almidón nativo (AN) y almidón resistente tipo 3 de avena (AR3).*

Table 2. Color evaluation in flour (HA), native starch (AN) and oat resistant starch type 3 (AR3).*

Muestra	Variable de color				
	L*	a*	b*	C	°h
HA	86.24 ± 0.04 ^c	0.99 ± 0.01 ^a	10.37 ± 0.03 ^a	10.4 ± 0.03 ^a	85.04 ± 0.17 ^b
AN	97.21 ± 0.04 ^a	0.012 ± 0.00 ^b	1.88 ± 0.03 ^c	1.88 ± 0.03 ^c	89.68 ± 0.36 ^a
AR3	94.90 ± 0.02 ^b	0.11 ± 0.00 ^c	5.98 ± 0.02 ^b	5.98 ± 0.04 ^b	89.02 ± 0.04 ^a

*Media aritmética de cinco repeticiones ± error estándar. Promedios con letras minúsculas iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

L = luminosidad, °h = ángulo hue, C = variable croma (intensidad), a = coordenada a (rojo/verde) y b = coordenada b (amarillo/azul).

*Arithmetic mean of five repetitions ± standard error. Means with the same lowercase letters in the same column are not significantly different ($p > 0.05$).

L = luminosity °h = hue angle, C = chroma variable (intensity), a = coordinate a (red/green) and b = coordinate b (yellow/blue).

entre las muestras, solamente el η permaneció sin cambio significativo entre las muestras de AN y AR3, pero sí incrementaron ligeramente con respecto a la muestra de HA. En base a estos resultados podemos decir que la muestra de HA presentó una ligera tonalidad café-amarilla; mientras que el AN fue completamente blanco y la muestra de AR3 presentó un color ligeramente amarillo. La evaluación física de color es una de las principales determinaciones de la calidad en productos amiláceos, ya que el consumidor prefiere productos con una tonalidad blanca (Zamudio-Flores *et al.*, 2007).

Efecto del contenido de almidón resistente en las propiedades viscoelásticas de la masa

Barrido oscilatorio de tiempo y temperatura

Con respecto al barrido oscilatorio de tiempo (Figura 1a) se observó que los módulos dinámicos (G' y G'') exhibieron un comportamiento similar al de geles débiles a base de mezclas de harina de arroz y almidones de diferentes fuentes botánicas (en una relación 2:1 de harina almidón al 5% p/p), debido a que las pendientes son ligeramente positivas y las magnitudes de G' son mucho mayores que las de G'' (Oh *et al.*, 2010). Las grasas desempeñan una función importante en la formación de la estructura tridimensional del gluten en los productos de panificación. La fuerza deseable en la red de gluten depende del tipo de producto; mientras algunos pro-

ductos requieren de la formación de una extensa red de gluten, algunos otros como las galletas de masa corta, necesitan de la formación de una red de gluten limitada. Los resultados obtenidos en nuestro estudio no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los valores de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') entre las diferentes masas para galletas, debido principalmente a que en todas las formulaciones se utilizó el mismo contenido de mantequilla y margarina, por lo que la adición de AR3 mostró un efecto mínimo sobre la estructura tridimensional de la masa para galletas, lo cual es un parámetro positivo en la determinación de la calidad sensorial de las galletas.

Para evaluar el efecto del calentamiento en las propiedades viscoelásticas de la masa para las galletas, se observó la evolución del módulo elástico (G') y el módulo viscoso (G'') desde 25 a 85 °C (temperatura máxima alcanzada por el sistema durante el calentamiento) aplicando un barrido de temperatura (Figura 1c). Los valores obtenidos en ambas temperaturas (25 y 85 °C) y en todas las muestras presentaron una ligera disminución en ambos módulos al incrementar la temperatura de los barridos y se mantuvieron en esa disminución hasta llegar a un valor de temperatura cercano a los 50 °C, posteriormente no se observaron cambios significativos ($p > 0.05$) en la evolución de dichos módulos. Estos resultados son congruentes con los comportamientos

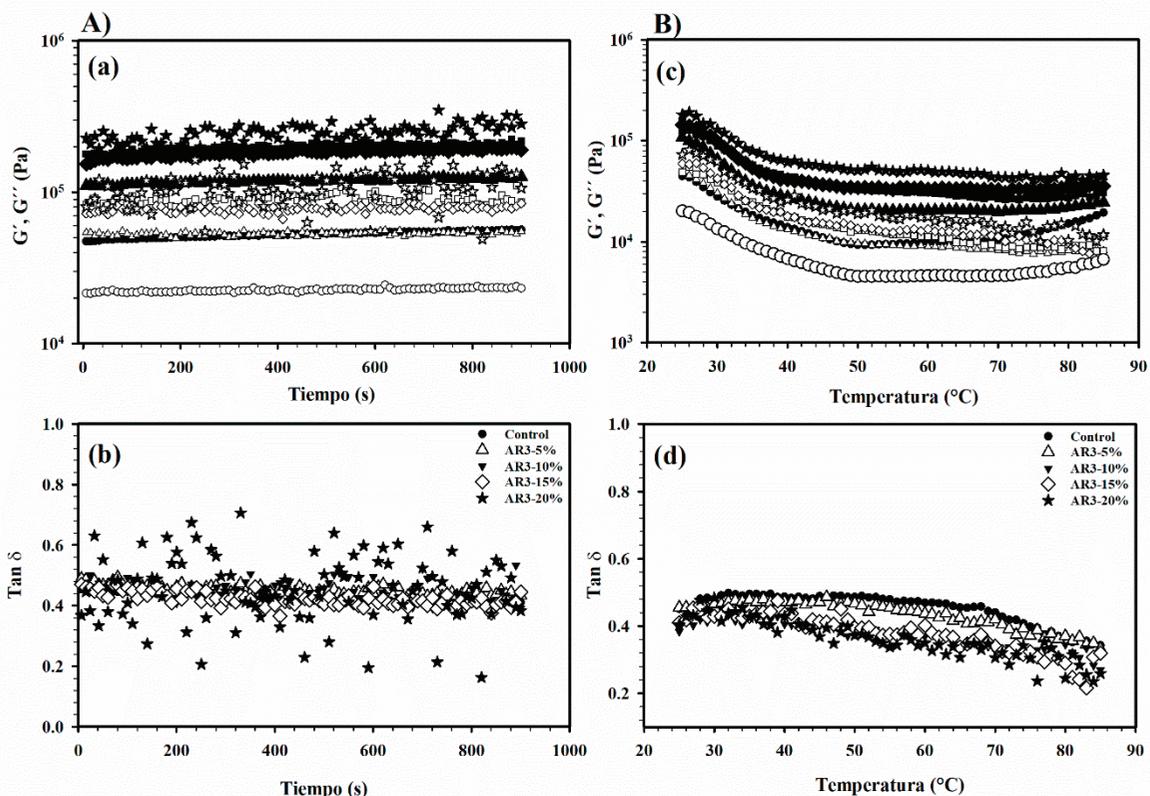


Figura 1. Dependencia del módulo de almacenamiento (G' , símbolos sólidos) y pérdida (G'' , símbolos abiertos) y tangente delta ($\tan \delta$) al A) tiempo (a,b) y B) temperatura (c, d) de masa control (●, ○) y con 5 % (AR3-5 %; ▲, △), 10 % (AR3-10 %; ■, □), 15 % (AR3-15 %; ◆, ◇) y 20 % (AR3-20 %; ★, ☆) de almidón resistente tipo 3 (AR3).

Figure 1. Storage (G' , solid symbols) and lost (G'' , open symbols) module dependence and delta tangent ($\tan \delta$) at A) time (a,b) and B) temperature (c, d) of dough control (●, ○) and with 5 % (AR3-5 %; ▲, △), 10 % (AR3-10 %; ■, □), 15 % (AR3-15 %; ◆, ◇) and 20 % (AR3-20 %; ★, ☆) of resistant starch type 3 (AR3).

reportados por Doğan (2002) quien observó que la tendencia inicial del valor de los módulos en masas calentadas a la temperatura de gelatinización decreció progresivamente arriba de una cierta temperatura (58 °C) lo cual indicó una disminución en las interacciones dentro del sistema. Sanz *et al.* (2005) estudiaron un intervalo de temperatura desde 10 a 60 °C y afirmaron que el batido (una fórmula de batido para freír) mostró una disminución en el módulo de la viscosidad compleja con un incremento inicial de la temperatura. Un incremento en las funciones viscoelásticas con la temperatura está asociado al proceso de gelatinización del almidón (Doğan, 2002; Salvador *et al.*, 2006; Baixauli *et al.*, 2007). El hecho de no haber observado estos incrementos en los módulos de las masas analizadas en nuestro estudio se debió a un retraso en el proceso fisicoquímico de la gelatinización, probablemente causado por una disminución del agua disponible dentro del sistema, como reportaron Baixauli *et al.* (2007). Por otra parte, en las Figuras 1c y 1d se presenta la dependencia del factor de pérdida (también conocido como tangente del ángulo de fase δ o $\tan \delta$) en función del barrido de tiempo y temperatura, respectivamente. Durante el barrido del tiempo (Figura 1c) se puede observar que para los tratamientos control, AR3-5 %, AR3-10 % y AR3-15 %, el valor de $\tan \delta$ se mantuvo prácticamente constante y sin variaciones significativas, por lo que la estabilidad de la masa durante el tiempo no es afectada por la presencia y concentración de AR3 en esos tratamientos (Piteira *et al.*, 2006). Solo se observaron variaciones en el tratamiento AR3-20 %, por lo que se puede intuir que la estabilidad de esta masa es dependiente del tiempo, dentro del intervalo evaluado. El factor de pérdida en función del barrido de temperatura (Figura 1d) presentó algunas variaciones, observándose que en todos los tratamientos la $\tan \delta$ presentó una caída a partir de los 33 °C, este fenómeno fue reportado recientemente por Varghese *et al.* (2020) y se atribuyó al punto de fusión de la mantequilla (~32 °C) en galletas a base de harina de jaca y mijo. Este descenso en la $\tan \delta$ se mantuvo hasta los 85 °C; sin embargo los valores inferiores se observaron en los tratamientos con 10, 15 y 20 % de AR3 (AR3-10 %, AR3-15 % y AR3-20 %, respectivamente). Este comportamiento sugiere que, dentro del rango de temperatura evaluado, el comportamiento elástico de las masas incrementó cuando estas se adicionaron con concentraciones de AR3 superiores al 5 %, lo que resultó en materiales menos viscosos (Sinthusamran *et al.*, 2019). En general, durante el incremento de tiempo y temperatura, los valores del factor de pérdida estuvieron por debajo del valor 1, por lo que las masas mantuvieron su estructura en las cuales predominó mayormente el comportamiento elástico que viscoso (Varghese *et al.*, 2020).

Barrido oscilatorio de esfuerzo

Cuando se realizaron los barridos oscilatorios de esfuerzo a las dos temperaturas de estudio (25 y 85 °C) se observó en todos los barridos una prevalencia del módulo de almacenamiento (G') sobre el módulo de pérdida (G''), el cual fue en todos los casos mayor a la temperatura de 25 °C (Figura 2a) que a la temperatura de 85 °C (Figura 3a). No se observa-

ron cambios significativos entre los barridos realizados a la muestra control y los de las masas de los tratamientos AR3-5%, AR3-10% y AR3-15%; sin embargo, cuando se realizó el barrido oscilatorio de esfuerzo se observó un incremento en la formulación AR3-20%. Este incremento, es consistente con el efecto proporcionado por la adición de AR3 ingresado en la formulación de la masa. Diversos autores han observado que la adición de AR en diferentes cantidades incrementa el valor de los módulos dinámicos debido a que las estructuras más densas o de mayor cristalinidad del AR disminuyen la absorción de agua (se observa esta disminución en la humedad de la muestra AR3, ver Tabla 1) durante el calentamiento, y entonces causan un incremento en el módulo de almacenamiento (G') (Baixauli *et al.*, 2007; Korus *et al.*, 2009; Hong y Yoo, 2012; Witczak *et al.*, 2012). Otros investigadores han hipotetizado que este incremento está relacionado con la desaparición de estructuras amorfas dentro del gránulo, producto del efecto del autoclaveado, algo que estaría de acuerdo con estos resultados debido a que el AR obtenido en este estudio fue producido por un tratamiento hidrotérmico de alta presión (autoclaveado) (Unlu y Faller, 1998; Aparicio-Saguilán *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2010). El factor de pérdida en función del esfuerzo oscilatorio a 25 y 85 °C se muestra en las Figuras 2d y 3d, respectivamente. En las dos temperaturas evaluadas se puede apreciar que $\tan \delta < 1$, esto está en concordancia con lo observado en las Figuras 2a y 3a, donde $G' > G''$, confirmando el comportamiento viscoelástico de todas las muestras; sin embargo, la temperatura afectó el comportamiento del factor de pérdida, ya que los valores de $\tan \delta$ a 25 °C oscilaron entre 0.4 y 0.5, y cuando la temperatura aumentó a 85 °C, se observó que la $\tan \delta$ osciló entre 2.4 y 0.4. Este comportamiento sugiere un incremento en la contribución elástica del sistema (Laguna *et al.*, 2012).

Barrido oscilatorio de deformación

En todas las muestras analizadas se observó que el módulo de almacenamiento (G') a la temperatura de 25 °C (Figura 2b) fue mayor en comparación con el módulo G' a la temperatura de 85 °C (Figura 3b); sin embargo, en la masa para galleta control se observó una coincidencia en los módulos G' (85 °C) y G'' (25 °C) en el intervalo del porcentaje de deformación de 0.01 al 1 %, y posteriormente (> 1 %) se observó una ligera separación de dichos módulos. No se observó dicho comportamiento en las muestras de las masas AR3-5 %, AR3-10 % y AR3-20 %; sin embargo, en la muestra adicionada con AR3-15 % se observó un comportamiento similar a la muestra control, solamente que en este caso los módulos dinámicos coincidentes fueron los módulos de pérdida (módulos viscosos, G'') a las dos temperaturas de estudio. Dicho comportamiento tiene su explicación, en el sentido de que la cantidad de AR3 en esta muestra no tuvo ningún efecto en cuanto al módulo viscoso o de pérdida (G'') independientemente de la temperatura analizada. Algunos estudios han demostrado el efecto de fenómenos de gelación en mezclas de AR y harina de trigo conteniendo cantidades importantes de amilopectina en su almidón, con lo cual se observó un efecto del

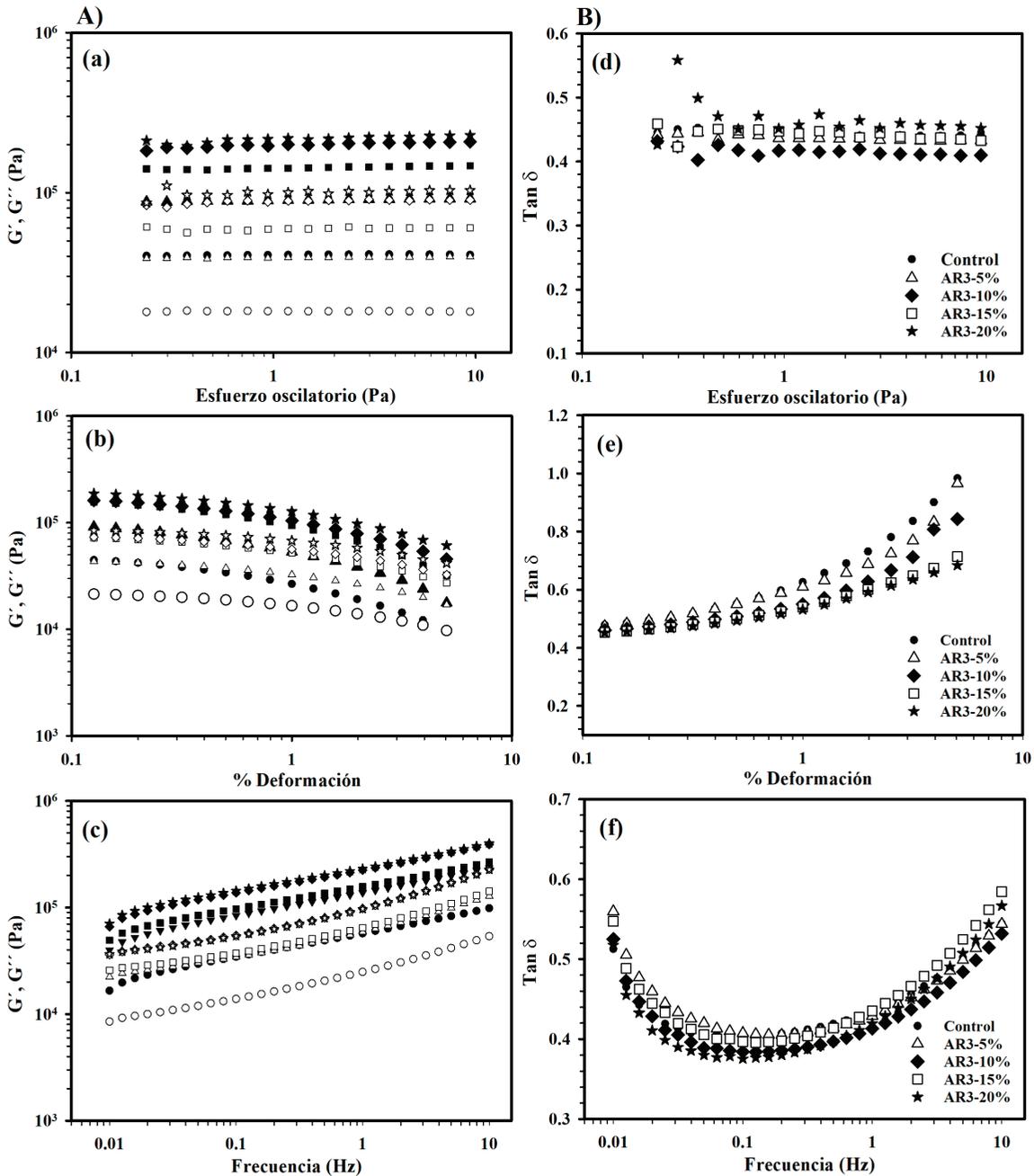


Figura 2. A) Dependencia del módulo de almacenamiento (G' , símbolos sólidos) y módulo de pérdida (G'' , símbolos abiertos) y B) tangente delta ($\tan \delta$) del barrido de esfuerzo oscilatorio (a, d), amplitud de la deformación (b, e) y barrido de frecuencia (c, f) de la masa control (●, ○) y con 5 % (AR3-5%; ▲, △), 10 % (AR3-10%; ■, □), 15 % (AR3-15%; ◆, ◇) y 20 % (AR3-20%; ★, ☆) de almidón resistente tipo 3 (AR3) a 25 °C.

Figure 2. A) Storage (G' , solid symbols) and lost (G'' , open symbols) module dependence and B) delta tangent ($\tan \delta$) from the oscillatory stress sweep (a, d), deformation % (b, e) and frequency sweep (c, f) from control dough (●, ○) and with 5 % (AR3-5%; ▲, △), 10 % (AR3-10%; ■, □), 15 % (AR3-15%; ◆, ◇) and 20 % (AR3-20%; ★, ☆) of resistant starch type 3 (AR3) at 25 °C.

tiempo sobre las características de las propiedades elásticas de la mezcla sin que se afectaran de manera significativa las características viscosas (Hong y Yoo, 2012). Por otra parte, en las Figuras 2d y 3d se muestra el comportamiento de la $\tan \delta$ a 25 y 85 °C. En ambos casos se observó que la $\tan \delta$ presento valores inferiores a 1, reafirmando el comportamiento visco-elástico ($G' > G''$) de las masas sin importar la temperatura.

Barrido oscilatorio de frecuencia

Cuando se realizaron los barridos oscilatorios de frecuencia a la temperatura de 25 °C (Figuras 2c) y de 85 °C (Figura 3c) se observó una ligera dependencia de los módulos dinámicos con respecto a los barridos de frecuencia indicando que el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') estuvieron en función de la frecuencia angular más que de las temperaturas de la prueba, lo cual fue mayormente per-

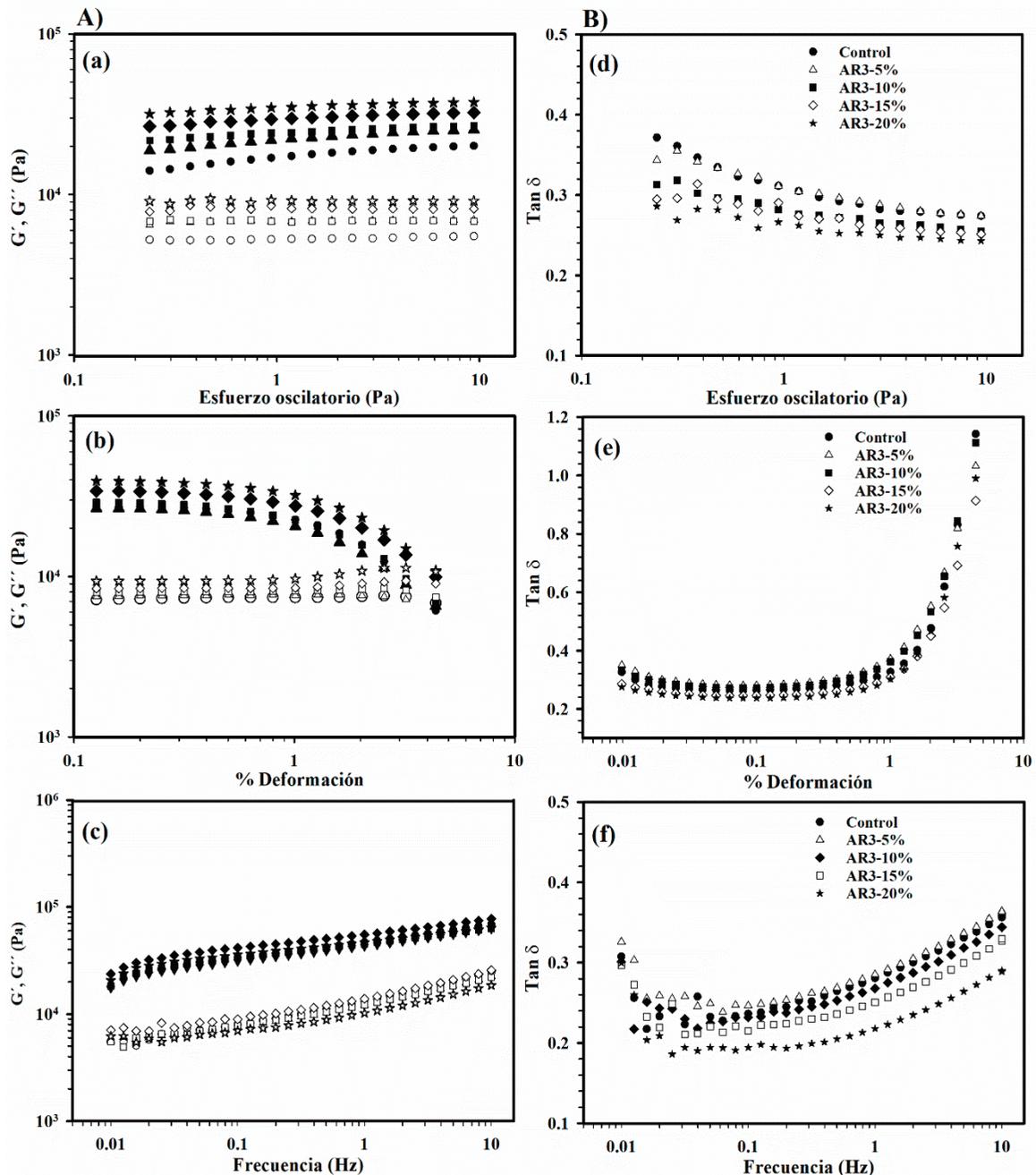


Figura 3. A) Dependencia del módulo de almacenamiento (G' , símbolos sólidos) y pérdida (G'' , símbolos abiertos) y B) tangente delta ($\tan \delta$) del barrido de esfuerzo oscilatorio (a, d), % deformación (b, e) y barrido de frecuencia (c, f) de masa control (●, ○) y con 5 % (AR3-5%; ▲, △), 10 % (AR3-10%; ■, □), 15 % (AR3-15%; ◆, ◇) y 20 % (AR3-20%; ★, ☆) de almidón resistente tipo 3 (AR3) a 85 °C.

Figure 3. A) Storage (G' , solid symbols) and lost (G'' , open symbols) module dependence and B) delta tangent ($\tan \delta$) from the oscillatory stress sweep (a, d), deformation % (b, e) and frequency sweep (c, f) from control dough (●, ○) and with 5 % (AR3-5%; ▲, △), 10 % (AR3-10%; ■, □), 15 % (AR3-15%; ◆, ◇) and 20 % (AR3-20%; ★, ☆) of resistant starch type 3 (AR3) at 85 °C.

ceptible en la muestra de masa para galleta control. Cuando se adicionó AR3 a 5% (AR3-5%), se observó una separación en los módulos de almacenamiento en las dos temperaturas del análisis y esta separación se incrementó a medida que aumentó la cantidad de AR3 adicionado en las muestras de masas. La variable $\tan \delta$ (relación de los módulos G''/G'), permaneció constante dentro de intervalo de valores de 0.1 a 1 y en ambas temperaturas tendió a separarse a medida que incrementó la frecuencia de la prueba (Figura 2f y 3f); tal

comportamiento está de acuerdo con lo reportado por Oh *et al.* (2010) en mezclas almidón y harina de arroz. En base a estos resultados, podemos deducir que la adición de AR3 promovió la retrogradación de amilosa y que esto estableció nuevas estructuras las cuales formaron entramados complejos con los otros ingredientes presentes en la formulación de la galleta sin que se afectara en predominio del módulo G' sobre G'' (Laguna *et al.*, 2013).

Efecto del AR3 en las propiedades de textura de la masa

El resultado del análisis de perfil de textura (TPA) realizado a las masas con las cuales se elaboraron las galletas se observa en la Tabla 3. Se evaluaron las variables de fracturabilidad, dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad, elasticidad y masticabilidad. En las variables de fracturabilidad, dureza, adhesividad y gomosidad se observaron incrementos significativos ($p < 0.05$) cuando se aumentó la cantidad de AR3 adicionado en la formulación de la masa; mientras que en la cohesividad y elasticidad prácticamente no se observaron cambios significativos ($p > 0.05$). En la masticabilidad no se observaron diferencias significativas entre las formulaciones control y AR3-5 % (masa con 5 % de almidón resistente) ni entre las formulaciones AR3-10 % y AR3-15 %, solamente se observó una diferencia significativa en la masa con la mayor cantidad de almidón resistente (muestra AR3-20 %). Estos resultados son congruentes con las pruebas reológicas dinámicas-oscilatorias en las cuales observamos un mayor predominio del módulo de elasticidad (G') sobre el módulo viscoso (G'') incrementándose en diversos ordenes de magnitud a medida que se incrementó el contenido de AR3 utilizado en las formulaciones. Esto explicaría el mayor incremento de las variables de fracturabilidad y dureza, ya que diversos estudios han correlacionado estas variables con un mayor predominio de G' en estudios de viscoelasticidad (Angioloni *et al.*, 2008; Bhattacharya *et al.*, 2003).

Efecto del AR3 en las propiedades de color, sensoriales y en la dureza de las galletas

Evaluación de color y dureza en las galletas

En la Tabla 4 se observan los resultados de la evaluación de color en las galletas control y en las galletas formuladas con las distintas concentraciones de AR3. Como se puede observar, el factor de luminosidad (L^*) indicó una ligera tendencia hacia menores valores cuando se incrementó la concentración de AR3 en la formulación de la galleta, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con la galleta control; sin embargo, no se observaron diferencias entre las formulaciones AR3-5 % y AR3-20 %, ni entre AR3-10 % y AR3-15 %. La disminución del factor L^* se debió a posibles

reacciones de obscurecimiento no enzimático (reacción de Maillard), ya que las galletas se sometieron a horneado y esta reacción es necesaria para dar una apariencia ligeramente café-amarilla (caramelización), lo cual se considera un atributo de calidad en las galletas y es una coloración deseable para el consumidor (Olinger y Pepper, 2001). Los resultados del factor L^* son ligeramente superiores a los reportados por Galdeano y Grossmann (2006) en galletas de harina de trigo y 20% de cascarilla de avena con un tratamiento físico (extrusión) y químico (oxidación con peróxido de hidrógeno alcalino) en donde obtuvieron valores $L^* = 63.10$ (cascarilla de avena tratada) y 62.90 (cascarilla de avena sin tratar). Es importante, además, considerar que los valores de las coordenadas a^* , b^* , croma (C) y ángulo hue ($^{\circ}h$) son descriptivos de un color en específico, indicando que las variaciones de color oscilaron entre la tonalidad ligeramente amarilla (control) a amarilla-café en las galletas adicionadas con AR3, encontrándose algunas diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las distintas formulaciones.

En relación a la variable de dureza en las galletas, en términos generales observamos un incremento significativo ($p < 0.05$) en todas las formulaciones adicionadas con AR3 en comparación con la muestra control (sin AR3), y este fue mayor a medida que aumentó la cantidad de AR3 en la formulación de las galletas, llegando a ser de $\approx 156\%$ en las galletas con la mayor adición de AR3 (muestra AR3-20%).

Evaluación sensorial

En la Figura 4 se observan los resultados de evaluación sensorial de las galletas utilizando una escala hedónica. En general, las galletas adicionadas con AR3 en su formulación (AR3-5 %, AR3-10 % y AR3-15 %) mostraron una ligera disminución en la preferencia del consumidor; sin embargo, la galleta con 20 % de AR3 (AR3-20 %), no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a la muestra control, e incluso, lo valores numéricos cuantitativos absolutos la posicionaron en aceptación por arriba de la galleta control (datos no mostrados). La presencia de AR3 en cantidades menores del 20% (AR3-5 %, AR3-10 % y AR3-15 %) afectó los atributos de calidad al indicar una sensación de arenosidad (datos no

Tabla 3. Resultado del análisis de perfil de textura (TPA) en masas con las diferentes formulaciones de galletas.*

Table 3. Texture profile analysis (TPA) results in doughs with different cookies formulations.*

Variable TPA	Formulaciones de galletas (en la masa)				
	Control	AR3-5 %	AR3-10 %	AR3-15 %	AR3-20 %
Fracturabilidad (N)	4.59 ± 0.13 ^d	6.71 ± 0.15 ^c	10.01 ± 0.11 ^b	11.25 ± 0.15 ^b	15.76 ± 0.39 ^a
Dureza (N)	5.07 ± 0.08 ^d	7.31 ± 0.05 ^c	10.82 ± 0.06 ^b	12.10 ± 0.07 ^b	16.98 ± 0.42 ^a
Adhesividad	13.89 ± 0.46 ^c	20.70 ± 1.54 ^c	36.66 ± 0.20 ^b	49.28 ± 2.90 ^a	57.07 ± 4.79 ^a
Cohesividad	0.40 ± 0.02 ^a	0.43 ± 0.01 ^a	0.42 ± 0.00 ^a	0.45 ± 0.02 ^a	0.43 ± 0.02 ^a
Gomosidad	2.03 ± 0.10 ^c	3.14 ± 0.10 ^c	4.54 ± 0.06 ^{b,c}	5.42 ± 0.18 ^{a,b}	7.20 ± 0.36 ^a
Elasticidad	1.26 ± 0.01 ^a	1.32 ± 0.03 ^a	1.20 ± 0.01 ^a	1.22 ± 0.01 ^a	1.23 ± 0.00 ^a
Masticabilidad	2.57 ± 0.13 ^c	2.57 ± 0.13 ^c	5.46 ± 0.10 ^b	6.56 ± 0.18 ^b	8.79 ± 0.40 ^a

*Media aritmética de cinco repeticiones ± error estándar. Promedios con letras minúsculas iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

*Arithmetic mean of five repetitions ± standard error. Means with the same lowercase letters in the same row are not significantly different ($p > 0.05$).

Tabla 4. Evaluación física de color y dureza en las galletas control y con almidón resistente (AR) a las diferentes concentraciones.*

Table 4. Physical evaluation of color and hardness in control cookies and with resistant starch (AR) at different concentrations.*

Galleta	Variable de color					Dureza (N)
	L*	a*	b*	C	°h	
Control	78.48 ± 0.10 ^a	-1.13 ± 0.07 ^d	29.39 ± 0.11 ^b	29.94 ± 0.13 ^b	91.62 ± 0.12 ^a	7.85 ± 1.20 ^e
AR3-5%	73.58 ± 0.11 ^c	3.05 ± 0.09 ^a	31.09 ± 0.30 ^a	30.32 ± 0.13 ^a	84.52 ± 0.34 ^c	11.56 ± 1.73 ^d
AR3-10%	76.36 ± 0.13 ^b	0.82 ± 0.10 ^c	31.99 ± 0.19 ^a	31.50 ± 0.17 ^a	88.16 ± 0.20 ^b	14.17 ± 0.82 ^c
AR3-15%	76.61 ± 0.09 ^b	1.27 ± 0.14 ^b	30.50 ± 0.20 ^{a,b}	31.13 ± 0.39 ^a	87.76 ± 0.20 ^b	17.91 ± 1.01 ^b
AR3-20%	74.63 ± 0.28 ^c	3.25 ± 0.24 ^a	27.87 ± 0.09 ^c	28.06 ± 0.09 ^c	83.42 ± 0.04 ^c	20.11 ± 1.10 ^a

*Media aritmética de cinco repeticiones ± error estándar. Promedios con letras minúsculas iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Control = Galleta sin la adición de almidón resistente. AR3-5 % = Galleta adicionada con 5 % de almidón resistente tipo 3 (AR3). AR3-10 % = Galleta adicionada con 10 % de almidón resistente tipo 3 (AR3). AR3-15 % = Galleta adicionada con 15 % de almidón resistente tipo 3 (AR3). AR3-20 % = Galleta adicionada con 20 % de almidón resistente tipo 3 (AR3).

*Arithmetic mean of five repetitions ± standard error. Means with the same lowercase letters in the same column are not significantly different ($p > 0.05$). Control = Cookie without the addition of resistant starch. AR3-5 % = Cookie added with 5 % resistant starch type 3 (AR3). AR3-10 % = Cookie added with 10 % resistant starch type 3 (AR3). AR3-15 % = Cookie added with 15 % resistant starch type 3 (AR3). AR3-20 % = Cookie added with 20 % resistant starch type 3 (AR3).

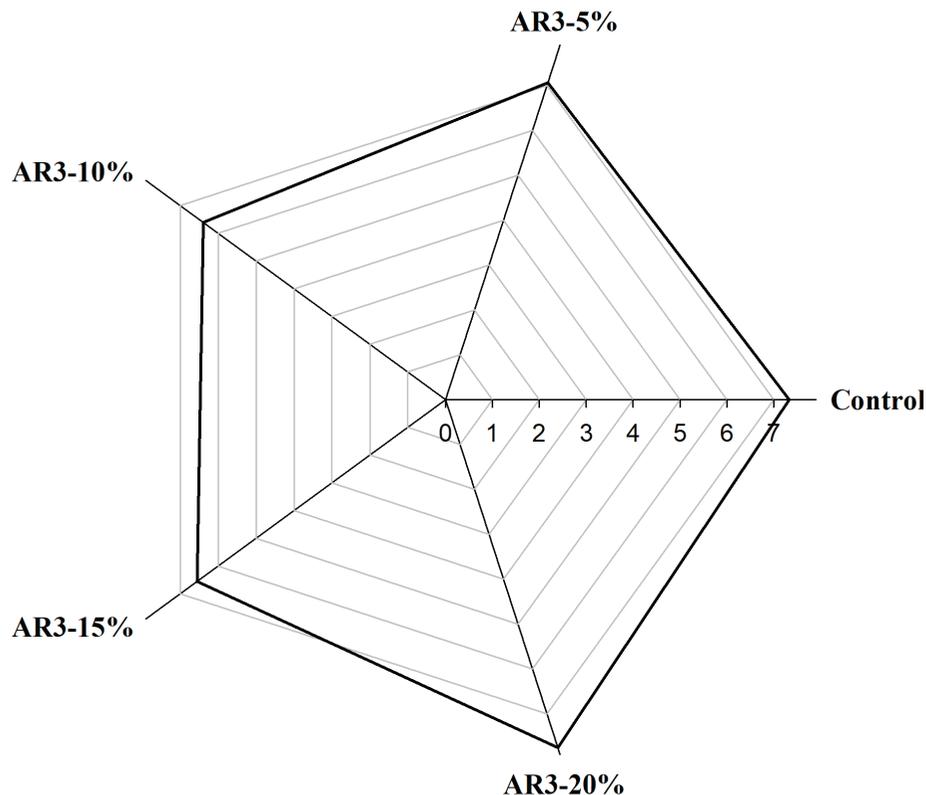


Figura 4. Puntaje comparativo de la evaluación sensorial de las galletas obtenido utilizando escala hedónica de 9 puntos: 1 = Disgusta muchísimo, 5 = Ni gusta ni disgusta, 9 = Gusta muchísimo. Control = Galleta sin adición de almidón resistente tipo 3, AR3-5 % = Galleta adicionada con 5 % de almidón resistente tipo 3, AR3-10 % = Galleta adicionada con 10 % de almidón resistente tipo 3, AR3-15 % = Galleta adicionada con 15 % de almidón resistente tipo 3 y AR3-20 % = Galleta adicionada con 20 % de almidón resistente tipo 3.

Figure 4. Comparative score of the cookies sensory evaluation using 9-points hedonic scale: 1 = Completely dislike, 5 = Neither like nor dislike, 9 = Completely like. Control = Cookie without resistant starch type 3, AR3-5 % = Cookie added at 5 % with resistant starch type 3, AR3-10 % = Cookie added at 10 % with resistant starch type 3, AR3-15 % = Cookie added at 15 % with resistant starch type 3 and AR3-20 % = Cookie added at 20 % with resistant starch type 3.

mostrados, obtenidos de los comentarios de la evaluación); mientras que al incrementar la cantidad de AR3 al 20 % (AR3-20 %), la mayoría de los evaluadores optó por seleccionar esta formulación como adecuada al paladar. Baixauli *et al.* (2007) reportaron en un estudio sensorial, que la presencia de AR afectó las propiedades de textura en panes tipo "muffin" lo cual fue percibido por una cierta sensación de arenosidad, similar a lo encontrado en nuestro estudio. Finalmente, estos investigadores concluyeron que estas características no afectaron "la aceptabilidad total" de estos productos por los consumidores.

CONCLUSIONES

Se obtuvo almidón resistente tipo 3 (AR3) a partir de harina de avena mediante un proceso hidrotérmico de autoclaveado. Los análisis de textura indicaron que la adición de AR3 incrementó la fracturabilidad, dureza y masticabilidad de las masas. La dureza de la masa se reflejó en la dureza de las galletas, ya que está incrementó con la concentración de AR3. Las pruebas viscoelásticas indicaron que el módulo de almacenamiento (G') y de pérdida (G'') se incrementaron con la adición de AR3, lo cual pudo deberse a la formación de estructuras amorfas y una menor absorción de agua (ambos fenómenos debidos a la presencia de AR3). Las pruebas sensoriales mostraron una mayor preferencia por la galleta con la mayor cantidad (20 %) de AR3; siendo esta formulación la que presentó la textura con la mayor dureza. En general, se obtuvo un alimento funcional mediante una galleta enriquecida con AR3 de avena, sin que se modificaran de manera significativa los atributos de calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Ángel Esparza Chávez†, al Ing. Arturo Ramos Martínez y a la Ing. Irma Graciela Flores Cortés por sus asistencias técnicas, y se agradece al Fondo Mixto CONACYT-Chihuahua (clave CHIH-2009-C02-126281). Este trabajo es un producto del Grupo de Investigación (GI) en Carbohidratos, Empaques y Alimentos Funcionales (CEAF) del CIAD-Cuauhtémoc, Chihuahua, México, liderado por el Dr. Paul Baruk Zamudio Flores.

REFERENCIAS

- AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of Analysis, 11 th Ed. Method 76-13.01. Total starch assay procedure (megazyme amyloglucosidase/alpha-amylase method). First approval November 8, 1995; Reapproval November 3, 1999. Cereals & Grains Association, St. Paul, MN, U.S.A. 2010
- Adebowale, K.O., Adeniyi Afolabi, T. y Lawal, O.S. 2002. Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. *Food Chemistry*. 78(3): 305-311.
- Agrahar-Murugkar, D., Dwivedi, S., Dixit-Bajpai, P. y Kumar, M. 2018. Effect of natural fortification with calcium and protein rich ingredients on texture, nutritional quality and sensory acceptance of cookies. *Nutrition & Food Science*. 48(5): 807-818.
- Akhtar, M. y Dickinson, E. 2007. Whey protein-maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic. *Food Hydrocolloids*. 21(4): 607-616.
- Angioloni, A., Balestra, F., Pinnavaia, G.G. y Rosa, M.D. 2008. Small and large deformation tests for the evaluation of frozen dough viscoelastic behaviour. *Journal of Food Engineering*. 87(4): 527-531.
- Aparicio-Saguilán, A., Flores-Huicochea, E., Tovar, J., García-Suárez, F., Gutiérrez-Meraz, F. y Bello-Pérez, L.A. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and linterized banana starch: partial characterization. *Starch-Stärke*. 57(9): 405-412.
- Aparicio-Saguilán, A., Gutiérrez-Meraz, F., García-Suárez, F.J., Tovar, J. y Bello-Pérez, L.A. 2008. Physicochemical and functional properties of cross-linked banana resistant starch. Effect of pressure cooking. *Starch - Stärke*. 60(6): 286-291.
- Aparicio-Saguilán, A., Sáyago-Ayerdi, S.G., Vargas-Torres, A., Tovar, J., Ascencio-Otero, T.E. y Bello-Pérez, L.A. 2007. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich linterized banana starch. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20(3): 175-181.
- Ashwar, B.A., Gani, A., Shah, A., Wani, I.A. y Masoodi, F.A. 2016. Preparation, health benefits and applications of resistant starch—A review. *Starch - Stärke*. 68(3-4): 287-301.
- Baixauli, R., Sanz, T., Salvador, A. y Fiszman, S.M. 2007. Influence of the dosing process on the rheological and microstructural properties of a bakery product. *Food Hydrocolloids*. 21(2): 230-236.
- Berry, C.S. 1986. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *Journal of Cereal Science*. 4(4): 301-314.
- Bhattacharya, M., Langstaff, T.M. y Berzonsky, W.A. 2003. Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen doughs. *Food Research International*. 36(4): 365-372.
- Doğan, İ.S. 2002. Dynamic rheological properties of dough as affected by amylases from various sources. *Food / Nahrung*. 46(6): 399-403.
- Englyst, H.N., Kingman, S.M. y Cummings, J.H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European journal of clinical nutrition*. 46 Suppl 2: S33-50.
- Fox, E., Shotton, K. y Ulrich, C. 1995. Sigma-Stat: Manual del usuario, versión 2.1 para Windows 95 NT y 3.1. Editorial Jandel Scientific Co. EUA.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M.J., Sánchez-Zapata, E. y Pérez-Álvarez, J.A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. 43(4): 931-942.
- Galdeano, M.C. y Grossmann, M.V.E. 2006. Oat hulls treated with alkaline hydrogen peroxide associated with extrusion as fiber source in cookies. *Food Science and Technology*. 26: 123-126.
- Giuberti, G., Marti, A., Fortunati, P. y Gallo, A. 2017. Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: Nutritional aspects and textural characteristics. *Journal of Cereal Science*. 76: 157-164.
- González-Soto, R.A., Agama-Acevedo, E., Solorza-Feria, J., Rendón-Villalobos, R. y Bello-Pérez, L.A. 2004. Resistant starch made from banana starch by autoclaving and debranching. *Starch - Stärke*. 56(10): 495-499.

- Goñi, I., García-Diz, L., Mañas, E. y Saura-Calixto, F. 1996. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*. 56(4): 445-449.
- Holm, J., Hagander, B., Björck, I., Eliasson, A.C. y Lundquist, I. 1989. The effect of various thermal processes on the glycemic response to whole grain wheat products in humans and rats. *The Journal of Nutrition*. 119(11): 1631-1638.
- Hong, S.R. y Yoo, B. 2012. Effect of resistant starch (RS3) addition on rheological properties of wheat flour. *Starch - Stärke*. 64(7): 511-516.
- Kahraman, K., Aktas-Akylz, E., Ozturk, S. y Koxsel, H. 2019. Effect of different resistant starch sources and wheat bran on dietary fibre content and *in vitro* glycaemic index values of cookies. *Journal of Cereal Science*. 90: 102851.
- Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J. y Gat, Y. 2019. Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18(4): 372-377.
- Kim, N.H., Kim, J.H., Lee, S., Lee, H., Yoon, J.W., Wang, R. y Yoo, S.H. 2010. Combined effect of autoclaving-cooling and cross-linking treatments of normal corn starch on the resistant starch formation and physicochemical properties. *Starch - Stärke*. 62(7): 358-363.
- Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R. y Juszcak, L. 2009. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. *Food Hydrocolloids*. 23(3): 988-995.
- Kuakpetoon, D. y Wang, Y.J. 2001. Characterization of different starches oxidized by hypochlorite. *Starch - Stärke*. 53(5): 211-218.
- Laguna, L., Hernández, M.J., Salvador, A. y Sanz, T. 2013. Study on resistant starch functionality in short dough biscuits by oscillatory and creep and recovery tests. *Food and Bioprocess Technology*. 6(5): 1312-1320.
- Lee, Y.J., Kim, D.-B., Lee, O.H. y Yoon, W.B. 2016. Characterizing texture, color and sensory attributes of cookies made with jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) flour using a mixture design and browning reaction kinetics. *International Journal of Food Engineering*. 12(2): 107-126.
- Morris, G.A., Sims, I.M., Robertson, A.J. y Furneaux, R.H. 2004. Investigation into the physical and chemical properties of sodium caseinate-maltodextrin glyco-conjugates. *Food Hydrocolloids*. 18(6): 1007-1014.
- Nugent, A.P. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*. 30(1): 27-54.
- Núñez-Santiago, M.C., Méndez-Montealvo, M.G. y Solorza-Feria, J. 2001. Introducción a la Reología. Instituto Politécnico Nacional. México, DF. 43-49 y 87-91.
- O'Regan, J. y Mulvihill, D.M. 2010. Sodium caseinate-maltodextrin conjugate stabilized double emulsions: Encapsulation and stability. *Food Research International*. 43(1): 224-231.
- Oh, J.H., Kim, M.J. y Yoo, B. 2010. Dynamic rheological properties of rice flour-starch blends. *Starch-Stärke*. 62(6): 321-325.
- Olinger, P.M. y Pepper, T. 2001. Xylitol. En: *Alternative Sweeteners*. L. O. Nabors (eds.). pp. 335-365. Marcel Dekker. Basel, New York, USA.
- Piteira, M.F., Maia, J.M., Raymundo, A. y Sousa, I. 2006. Extensional flow behaviour of natural fibre-filled dough and its relationship with structure and properties. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 137(1): 72-80.
- Rehman, Z.U. y Shah, W.H. 2005. Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chemistry*. 91(2): 327-331.
- Rutenberg, M.W. y Solarek, D. 1984. Starch derivatives: Production and uses. En: *Starch: Chemistry and Technology*. R. L. Whistler, J. N. Bemiller y E. F. Paschall (eds.). 2 ed., pp. 311-388. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S. y Kulkarni, P.R. 2006. Resistant Starch. A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5(1): 1-17.
- Salvador, A., Sanz, T. y Fiszman, S.M. 2006. Dynamic rheological characteristics of wheat flour-water doughs. Effect of adding NaCl, sucrose and yeast. *Food Hydrocolloids*. 20(6): 780-786.
- Sánchez-Rivera, M.M., García-Suárez, F.J.L., Velázquez del Valle, M., Gutierrez-Meraz, F. y Bello-Pérez, L.A. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*. 62(1): 50-56.
- Sanz, T., Fernández, M.A., Salvador, A., Muñoz, J. y Fiszman, S.M. 2005. Thermogelation properties of methylcellulose (MC) and their effect on a batter formula. *Food Hydrocolloids*. 19(1): 141-147.
- Shepherd, R., Robertson, A. y Ofman, D. 2000. Dairy glycoconjugate emulsifiers: casein-maltodextrins. *Food Hydrocolloids*. 14(4): 281-286.
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Singh Sodhi, N. y Singh Gill, B. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*. 81(2): 219-231.
- Sinthusamran, S., Benjakul, S., Kijroongrojana, K. y Prodpran, T. 2019. Chemical, physical, rheological and sensory properties of biscuit fortified with protein hydrolysate from cephalothorax of Pacific white shrimp. *Journal of Food Science and Technology*. 56(3): 1145-1154.
- Tecante, A. 2001. Viscoelasticity. En: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. G. V. Barbosa-Cánovas, P. Juliano y M. A. Rao (eds.). pp. 292-304. Eolss Publishers Cp. Ltd. L. USA.
- Unlu, E. y Faller, J.F. 1998. Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal Chemistry*. 75(3): 346-350.
- Utrilla-Coello, R.G., Agama-Acevedo, E., Osorio-Díaz, P., Tovar, J. y Bello-Pérez, L.A. 2011. Composition and starch digestibility of whole grain bars containing maize or unripe banana flours. *Starch - Stärke*. 63(7): 416-423.
- Varghese, C., Wolodko, J., Chen, L., Doschak, M., Srivastav, P.P. y Roopesh, M.S. 2020. Influence of Selected Product and Process Parameters on Microstructure, Rheological, and Textural Properties of 3D Printed Cookies. *Foods*. 9(7): 907.
- Villanueva, M., Pérez-Quirce, S., Collar, C. y Ronda, F. 2018. Impact of acidification and protein fortification on rheological and thermal properties of wheat, corn, potato and tapioca starch-based gluten-free bread doughs. *LWT-Food Science and Technology*. 96: 446-454.
- Walpole, E.R., Myers, H.R. y Myers, L.S. 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. México.
- Witczak, M., Juszcak, L., Ziobro, R. y Korus, J. 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*. 28(2): 353-360.

Wong, T.H.T. y Louie, J.C.Y. 2016. The relationship between resistant starch and glycemic control: A review on current evidence and possible mechanisms. *Starch - Stärke*. 69(7-8): 1-9.

Zamudio-Flores, P.B., Bello-Pérez, L.A., Vargas-Torres, A., Hernández-Urbe, J.P. y Romero-Bastida, C.A. 2007. Partial characterization of films prepared with oxidized banana starch. *Agrociencia*. 41: 837-844.

Zamudio-Flores, P.B., Tirado-Gallegos, J.M., Monter-Miranda, J.G., Aparicio-Saguilán, A., Torruco-Uco, J.G., Salgado-Delgado, R. y Bello-Pérez, L.A. 2015. Digestibilidad *in vitro* y propiedades térmicas, morfológicas y funcionales de harinas y almidones de avenas de diferentes variedades. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 14(1): 81-97.

Zhang, H., Yin, L., Zheng, Y. y Shen, J. 2016. Rheological, textural, and enzymatic hydrolysis properties of chickpea starch from a Chinese cultivar. *Food Hydrocolloids*. 54: 23-29.