

## 23. Agroalimentaria

### **Aplicaciones Tecnológicas del okara de soja en la producción de alimentos panificados libres de gluten**

Autor: Moscoso Ospina, Yeisson A.; e.mail yamoscosoo@uqvirtual.edu.co

Co-autor(es): Lionello, Melina E.; e.mail melina.lionello@gmail.com

Garofalo, Luciana C; e.mail garofalolucianac@gmail.com

Correa, Ma. Jimena; e.mail jimecorrea@hotmail.com

Cabezas, Dario M.; e.mail dario.cabezas@unq.edu.ar

Orientador: Cabezas, Dario M.; e.mail dario.cabezas@unq.edu.ar

Departamento/ Instituto/ Facultad

Laboratorio de Investigación en Funcionalidad y Tecnología de Alimentos (LIFTA),

Departamento de Ciencia y Tecnología

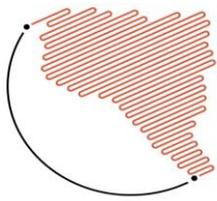
Universidad de origen

Universidad Nacional de Quilmes (Argentina)

---

#### **Resumen**

El okara es un subproducto obtenido de la harina de soja luego de la extracción alcalina de las proteínas de reserva y del suero. El mismo presenta un elevado contenido de proteínas insolubles y polisacáridos de alto peso molecular. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de diferentes muestras de okara de soja como mejoradores de la calidad panarea en formulaciones libres de gluten. Se utilizó como control una formulación a base de almidón de maíz, harina de arroz y fécula de mandioca. Por otro lado, se adicionaron tres tipos de okara en dos niveles (2% y 3%): OS (extracción alcalina sin sonicación), OSS (sonicado durante la extracción), OSPS (OS sonicado en dispersión previo a la panificación). Posteriormente, se evaluaron los parámetros reológicos de los batidos y las características de los panes (volumen específico, porosidad, humedad, textura, entre otros). El agregado de los diferentes okaras de soja mejoró tanto los parámetros reológicos de los batidos como los relacionados a la calidad panaria respecto al pan control. La utilización del proceso de sonicación modificó la estructura de las muestras, haciendo que estas tengan una mayor capacidad como agentes mejoradores del batido. Esto se debe a la disminución del tamaño de partícula del okara durante dicho proceso de alta energía, generando una mayor exposición de los grupos funcionales. Se pudo ordenar las muestras según su capacidad para mejorar la calidad panaria como OSS>OSPS>OS. Cabe resaltar que la formulación seleccionada (OSS 3%) tuvo una gran aceptación al someterse a la evaluación sensorial por parte de un panel no entrenado. Esto indica que las mejoras en la calidad fueron también percibidas por el consumidor.



## Introducción

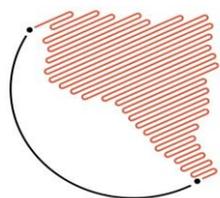
La enfermedad celíaca (EC) es una intolerancia permanente a un grupo de proteínas denominadas prolaminas, presentes en los cereales trigo, avena, cebada y centeno (T.A.C.C.). La ingesta de estas prolaminas, por parte de individuos genéticamente predispuestos, genera una enteropatía caracterizada por la inflamación crónica del intestino delgado como consecuencia de reacciones antígeno-anticuerpo que dan como resultado la atrofia de las vellosidades intestinales. Esto conlleva a una deficiente absorción de nutrientes y patologías tales como diarrea, anemia, pérdida de peso, diabetes, entre otros síntomas (Catassi y Fasano, 2008).

La EC es la enfermedad inflamatoria crónica intestinal más frecuente a nivel mundial. Se calcula que afecta alrededor de 1:100 a 1:300 personas sanas, sin embargo, dada la variedad de cuadros sintomáticos que presenta es difícil de diagnosticar. El método de diagnóstico más conveniente es la realización de una biopsia intestinal (Lee y col., 2003). La EC puede afectar tanto a niños como adultos y el único tratamiento efectivo que existe actualmente es llevar una estricta dieta sin T.A.C.C. de por vida.

Una de las problemáticas más importantes con respecto a las personas celíacas es que en la Argentina un gran porcentaje de la dieta típica se basa en harina de trigo, lo cual

resulta una complicación para los pacientes con EC dado que estos productos no solo cumplen una función exclusivamente alimenticia, sino que también cumplen un rol social y cultural. Sfoggia (2018) informa que en el seguimiento de la dieta libre de gluten es habitual que se produzcan conflictos en el ámbito laboral, en situaciones sociales o domésticas. Es por estas razones que se busca que los alimentos libres de gluten (ALG) sean consumidos por el público en general y que no sólo sean específicamente para quienes padecen la EC.

El pan forma parte de los alimentos básicos más consumidos por el hombre a lo largo de la historia. Se utiliza para acompañar las comidas y también como único alimento. El trigo es sobresaliente entre otros cereales para panificar ya que las proteínas del gluten poseen propiedades viscoelásticas únicas (Hager A., 2012) y, es esta la razón por la cual se busca en las formulaciones sin TACC asemejar la calidad final del producto a la que posee el pan de trigo. Para las panificaciones libres de gluten se utilizan harinas, almidones y féculas de diversos orígenes que son naturalmente libres de gluten como sustitutos de la harina de trigo. Además de los ingredientes típicos del pan se suelen adicionar fibras, hidrocoloides y proteínas de diversos orígenes (Mezaize y col., 2009). Estas materias primas suelen tener una mayor absorción de agua en relación a la harina de trigo (Sciarini, 2011), por lo que en



general, no se suele trabajar con masas como en el caso de la panificación tradicional, sino que se forman batidos. Es por ello que la metodología para la elaboración de panificados libres de gluten consiste en la mezcla de ingredientes y batido para la incorporación de aire, seguida de una fermentación en moldes y luego la cocción (Moore y col., 2004). Dichas formulaciones suelen presentar un bajo valor nutricional (Ziobro y col., 2013). Por este motivo, se busca desarrollar alimentos con un mejor perfil nutricional, por lo que se ha estudiado el agregado de proteínas y fibra dietaria que cumplen la doble función de mejorar la calidad tecnológica (volumen, textura, alveolado, etc.) y la nutricional. Asimismo, también constituye un desafío mejorar las características sensoriales y la aceptabilidad global.

El okara de soja es el subproducto insoluble obtenido mediante extracciones acuosas realizadas sobre dispersiones de harina de soja. Este material presenta un elevado contenido de proteínas y polisacáridos de alto peso molecular. Estas características permiten inferir una potencial aplicación como agentes mejoradores de la calidad panadera en formulaciones libres de gluten, aumentando la capacidad de absorción y retención de agua, y/o mejorando el perfil de textura de las masas y los panes (Mateos-Aparicio, 2013).

## Objetivos

El objetivo general de este trabajo fue estudiar el efecto del okara de soja en la producción de panificados libres de gluten, utilizándolo como mejorador de la calidad panaria. Para ello, se estudiará el efecto de la aplicación de distintos tratamientos de sonicación durante la obtención de diversas muestras de okara de soja y se analizará el efecto del agregado de las mismas sobre las características reológicas de los batidos y la calidad tecnológica y sensorial de productos panificados libres de gluten.

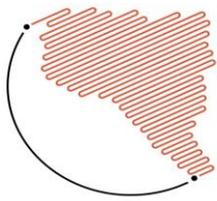
## Materiales y Métodos

### • *Materiales*

Harina de arroz, fécula de mandioca, almidón de maíz (Santa María), levadura deshidratada (Levex), azúcar (Ledesma), leche descremada en polvo (La Serenísima), clara de huevo en polvo (Ovobrand), aceite de girasol (Molinos Cañuelas) y sal (Celusal).

### • *Obtención de las muestras de okara de soja*

El proceso de obtención del okara a partir de harina de soja se realizó eliminando los compuestos solubles en medio alcalino. Para ello, se dispersó la harina de soja en agua destilada en una relación de harina:agua de 1:7,5 y se homogeneizó con un equipo rotor-estator (Ultraturrax T-25, herramienta de dispersión S25-20NK-19G, IKA Labortechnik, GmbH&Co, Staufen, Alemania) durante 2 minutos a 10000 rpm. Posteriormente, se



llevó la mezcla a pH=9 con una solución de NaOH 4N, se homogeneizó (2 min a 10000 rpm) y finalmente se calentó en baño térmico a 60°C durante 30 minutos, agitando a intervalos de 5 minutos. Se centrifugó a 7000 G durante 15 minutos a 5°C (Centrífuga Avanti J-26). Esta primera etapa fue común para los dos tipos de okara obtenidos. A continuación, se detallan las etapas particulares de cada proceso:

- Okara de soja (OS): Luego de la centrifugación, se realizaron dos lavados con agua destilada en una relación 1:2 y se centrifugó nuevamente a 7000 G durante 15 minutos a 5°C. A continuación, se realizó un tratamiento con alcohol isopropílico con el objetivo de purificar la muestra extrayendo aquellos compuestos solubles en alcohol. Para dicho tratamiento, se realizó una dispersión en una relación de okara:alcohol de 1:3, se dejó reposar durante 2 horas y se centrifugó a 7000 G durante 15 minutos a 5°C. Luego, se realizó un lavado con alcohol isopropílico en una proporción 1:2. Se centrifugó y se secó en estufa con circulación de aire caliente a 40°C hasta peso constante. Finalmente, la muestra se molió y se tamizó hasta un tamaño de partícula de 500 micrómetros.

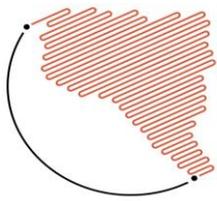
- Okara de soja sonicado (OSS): Una vez finalizada la primera centrifugación, se realizó una resuspensión de la muestra en agua destilada en una relación 1:2. La muestra se sometió a un proceso de sonicación durante

8 (Sonic Vibra Cells-7070 J, 75% potencia). Se centrifugó nuevamente en iguales condiciones y se realizó un lavado con agua destilada en una relación de 1:2. A continuación se realizó un lavado con alcohol isopropílico y se continuó de igual modo que con la muestra OS.

#### • *Formulaciones*

La formulación de la muestra control se desarrolló a base de una premezcla desarrollada por el presente grupo de investigación (Almidón de maíz, fécula de mandioca, harina de arroz). La composición porcentual (% m/m) de los ingredientes se calculó a partir de la base de dicha premezcla. Los otros ingredientes fueron: leche descremada en polvo (7%), clara de huevo en polvo (7%), levadura deshidratada (3%), sal (2%), azúcar (2%), aceite de girasol (10%) y agua (90%).

A esta formulación base se agregaron las muestras de okara de soja en estudio. Se realizaron panificados con el agregado de 2% y 3% de cada muestra de okara (OS y OSS). Además, se realizaron panificaciones agregando okara de soja (OS) sonicado posteriormente a su obtención. Para ello, se realizó una sonicación de la suspensión de dicho okara mediante la utilización de una punta sonicadora (SONICS 135 Vibra Cell, 550W, 8 minutos). A esta fracción modificada de okara se lo llamó okara de soja posteriormente sonicado (OSPS).



### • Panificación

En primer lugar, se colocó la levadura deshidratada junto con el azúcar y la tercera parte de la cantidad total de agua, previamente calentada en microondas (35°C). Dicha mezcla se dejó fermentar durante 30 minutos a temperatura ambiente. Seguidamente, se mezclaron a velocidad mínima (52 rpm) en una batidora planetaria (ATMA, modelo Bp8753e) las harinas, la leche en polvo, la sal y la clara de huevo. Posteriormente, se agregaron la mezcla fermentada, el aceite y el agua restante. En el caso de las panificaciones realizadas con el agregado de los distintos tipos de okara, estos se agregaron suspendidos en un tercio de la masa de agua total incorporándose al batido junto con los componentes líquidos.

La mezcla así obtenida, se batió a velocidad mínima ( $\approx 52$  rpm) hasta lograr la integración de todos los ingredientes y luego se batió durante 5 minutos a velocidad media ( $\approx 89$  rpm). Una vez finalizada la etapa de batido, se vertieron 50 g de la mezcla en moldes previamente enmantecados y los mismos se llevaron a fermentar en una estufa a 35°C, saturada con vapor de agua, durante 50 minutos. Por último, se realizó la cocción en horno (DOMEC, Modelo CBUPAV) saturado con vapor a temperatura moderada ( $\approx 200^\circ\text{C}$ ) durante 15 minutos.

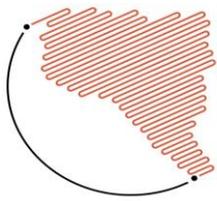
### • Ensayos reológicos de los batidos

Para realizar este ensayo, los batidos se

prepararon sin el agregado de levadura, dado que de lo contrario las propiedades reológicas de los batidos se verían modificadas a medida que transcurre la fermentación. El ensayo se realizó con un reómetro oscilatorio ARG2 (TA Instruments, USA), utilizando como sensor un sistema de platos paralelos. El batido se dejó reposar durante 15 minutos bajo refrigeración y luego se colocó en el reómetro, removiéndose cuidadosamente el exceso de muestra. Se realizó un barrido de deformación variando desde un 0.01% a un 100% de tensión para estudiar en qué rango de esfuerzo el sistema posee un comportamiento viscoelástico lineal. Posteriormente, se realizaron barridos de frecuencia a temperatura y esfuerzo constante (dentro del rango de viscoelasticidad lineal) para la determinación de los espectros mecánicos (Correa y col., 2010). A partir de los mismos, se calcularon los módulos de almacenamiento ( $G'$ ), de pérdida ( $G''$ ) y el módulo complejo ( $G^*$ ). Esto permitió caracterizar las características viscoelásticas del material.

### • Evaluación de la calidad de los panes

- Volumen específico: La determinación del volumen de los panes se realizó por desplazamiento de harina de maíz empleando una probeta graduada, previa medición de la masa de cada pieza. El volumen específico (VE) se calculó como el cociente entre el volumen y la masa del pan. Se determinó el volumen de cinco



panificados por cada lote, realizándose diez determinaciones de cada uno y calculando el promedio de estos valores con su respectiva desviación estándar (DS).

- Estructura de la miga: En cada panificación se realizó el escaneo de 8 rodajas de pan con un escáner HP 4070. El tamaño de las imágenes adquiridas fue de 10 cm x 10 cm y la resolución de 350 dpi. Mediante la utilización del programa ImageJ versión 143 se procedió al análisis de imagen de las migas. A partir del centro de cada rodaja se obtuvo una imagen de 3,20 cm x 3,20 cm para todas las muestras. Luego, la imagen digital en RGB color se convirtió a imagen de 8 bit en escala de grises, y posteriormente se convirtió la imagen en escala de grises en una imagen binarizada donde los alvéolos se representan en negro y las paredes de los mismos en color blanco. El procedimiento descrito se muestra en la Figura 1. Se analizó la imagen binarizada determinándose el número de alvéolos, el área alveolar (promedio) y la fracción de aire (relación entre el área alveolar y el área total) (Sciarini, 2011).

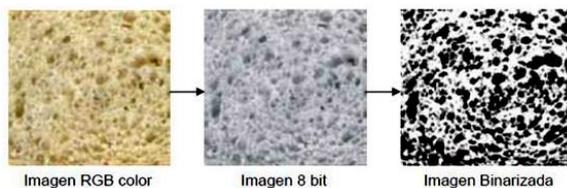


Figura 1. Ejemplo de imagen binarizada según el procedimiento descrito.

- Humedad de la miga: Se determinó por secado del producto en estufa a 135°C

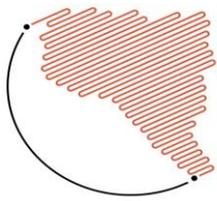
durante 2 horas (AACC 44-19, 2000).

- Textura de la miga: Se evaluó la textura de la miga de los panes frescos a través del análisis de perfil de textura (TPA), en el cual la muestra se somete a dos compresiones sucesivas, con un período de descanso entre ambas. De este modo, se intenta simular el proceso de masticación que experimenta el alimento en la boca. Se ha encontrado buena correlación entre los valores instrumentales y los obtenidos a través de la evaluación sensorial. El TPA se realizó con un analizador de textura TA. XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) equipado con una celda de carga de 25 kg. Para cada formulación se evaluó la textura de 4 panes. A partir de cada pan se obtuvieron 2 rodajas de 1,5 cm de espesor. Las rodajas fueron sometidas a dos ciclos de compresión hasta un 40% de su altura original usando una sonda de 2,5 cm de diámetro (SMS P/25) y una velocidad de ensayo de 0,5 mm/seg.

La determinación del perfil de textura de los panes se realizó al menos dos horas después del horneado de los mismos. En la Figura 2 se muestra una curva típica obtenida en este tipo de ensayos, a partir de la cual se determinan los parámetros detallados a continuación:

+ Dureza: Fuerza máxima registrada durante el primer ciclo de compresión y donde se realiza la máxima deformación del producto.

+ Cohesividad: Cociente entre el área



positiva del segundo ciclo (Área 4 + Área 5) y el área positiva del primer ciclo (Área 1+Área 2). Se relaciona con la fuerza de los enlaces entre los componentes que forman el producto (Bourne, 2002).

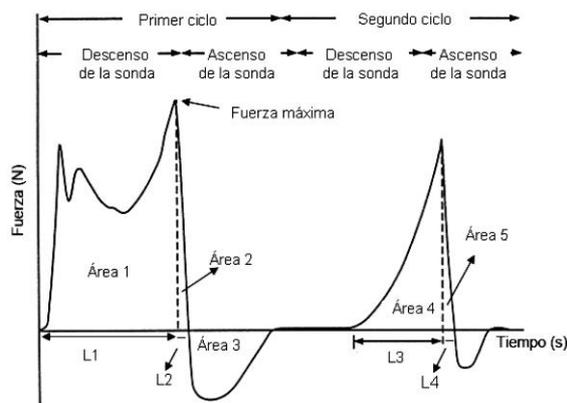


Figura 2: Curva general del perfil de textura (Fuente: Bourne, 2002)

+ Consistencia: Suma de las áreas del primer (Área 1+Área 2) y del segundo pico (Área 4 +

+ Elasticidad: Cociente entre la distancia necesaria para alcanzar el máximo del segundo pico (L3) y la distancia para alcanzar el máximo del primer pico (L1). Se relaciona con la recuperación del material luego de la primera compresión.

+ Resiliencia: Cociente entre el área del primer ciclo luego del máximo (Área 2) y el área del primer ciclo hasta alcanzar el máximo (Área 1). Se relaciona con la recuperación instantánea del material.

+ Masticabilidad: Producto de la dureza por cohesividad y elasticidad. Representa el trabajo necesario para desintegrar el alimento hasta que esté listo para ser

deglutido (Hleap J, 2010).

Para el cálculo de dichos parámetros se empleó el software Texture Expert para Windows, versión 1.2.

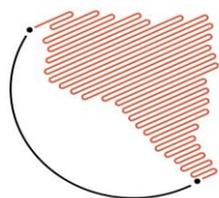
- Actividad de agua: Se determinó la actividad acuosa de la miga a 25°C con el empleo de un higrómetro AQUALAB 4TEV (Decagon Devices, Inc, Pullman, EUA) que utiliza la técnica del punto de rocío.

- Color: Se determinó el color de la miga de los panes utilizando como medida objetiva de color el espacio rectangular Hunter L, a, b. Se realizaron 20 medidas del color por panificación con un colorímetro triestímulo ChromaMeter CR-400 Konica Minolta (Osaka, Japón), previa calibración del mismo con un patrón provisto por el fabricante ( $Y = 93,2$ ;  $x = 0,3133$ ,  $y = 0,3192$ ).

- Microscopía electrónica ambiental: Se analizó la microestructura de la miga de los panes con el empleo de un microscopio FEI Quanta 200 a una presión de 4,14 torr y 10°C. Se obtuvieron micrografías de diferentes campos a 500X, 800X y 1000X. Este ensayo se realizó en el Servicio de Microscopía Electrónica y Microanálisis (SeMFi-LIMF) de la Facultad de Ingeniería-UNLP.

• *Evaluación sensorial*

Se realizó una prueba hedónica de grado de satisfacción con el fin de evaluar la aceptabilidad de una formulación con agregado de okara de soja. Para la misma, se



seleccionó la formulación que obtuvo los mejores parámetros de calidad tecnológica y se evaluó junto con el panificado control. En la prueba participaron 40 (cuarenta) panelistas no entrenados, entre los cuales había hombres y mujeres con edades comprendidas entre 18 y 55 años. Los evaluadores fueron consumidores de pan, no celíacos, que frecuentan la Universidad Nacional de Quilmes. Se eligió una escala hedónica verbal de 9 puntos (siendo 1, “me disgusta muchísimo”, 5 “ni me gusta ni me disgusta” y 9, “me gusta muchísimo”). Los atributos evaluados fueron: aspecto general, textura, esponjosidad de la miga, sabor y aceptabilidad global. Por otro lado, se preguntó para cada muestra a) si el consumidor compraría o no el producto y b) por qué muestra optaría en el caso de tener que elegir solo una.

#### • *Análisis estadístico*

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó mediante el programa estadístico MiniTab 16.1.0.0. Se informó para todos los ensayos el promedio  $\pm$  desvío estándar. Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA). En el caso de presentar diferencias, la comparación de las medias se realizó mediante el test de Fisher (LSD) con un intervalo de confianza de 95%.

### Resultados y Discusión

#### • *Composición proximal de las muestras de*

#### *okara de soja*

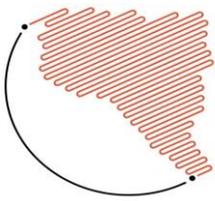
Se observó que ambos tipos de okara se encuentran compuestos principalmente por fibra dietaria y proteínas. Estos componentes se encontraron en proporciones similares en ambos tipos de muestra, por lo cual, se podría decir que la sonicación no generó cambios sustanciales a nivel composicional. Sin embargo, dicho proceso de alta energía puede provocar modificaciones microestructurales que se traducen en cambios potenciales en las propiedades fisicoquímicas, la textura y la calidad de los alimentos. Adicionalmente, el porcentaje de cenizas, humedad y carbohidratos también presentaron niveles similares en ambas muestras (Tabla 1).

Muestra	Fibra dietaria total (%BH)	Proteínas (%BH)	Humedad (%BH)	Cenizas (%BH)	Carbohidratos diferentes de fibra (por diferencia)
Okara de Soja (OS)	48,91	36,80	7,83	5,45	1,01
Okara de Soja Sonicado (OSS)	47,60	38,10	7,64	5,57	1,09

Tabla 1: Composición proximal de okara de soja (OS) y okara de soja sonicado (OSS)

#### • *Propiedades reológicas de los batidos*

La ausencia de gluten en las masas tiene una gran influencia sobre la reología de las mismas. Dichas masas son mucho menos cohesivas y elásticas que las formuladas con trigo. Son altamente suaves, difíciles de manejar, más pegajosas y pastosas, es por esto que se las denomina comúnmente batidos en lugar de masas (Houben y col., 2012). La consistencia del batido es una



característica muy importante a ser analizada ya que tiene una relación directa con el alveolado y el volumen específico del pan. Esto se debe a que representa la capacidad de retener pequeñas burbujas, que son inicialmente incorporadas durante el amasado (Sabani y col., 2009).

En la Figura 3 se muestra el comportamiento exhibido durante el barrido de frecuencia mediante los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ) para el pan control y los formulados con las diferentes muestras de okara de soja (OS, OSPS, OSS). Este ensayo se llevó a cabo aplicando una deformación de 0,05%. Dicho porcentaje fue seleccionado a partir del barrido de deformación, siendo éste un valor intermedio dentro del rango de viscoelasticidad lineal.

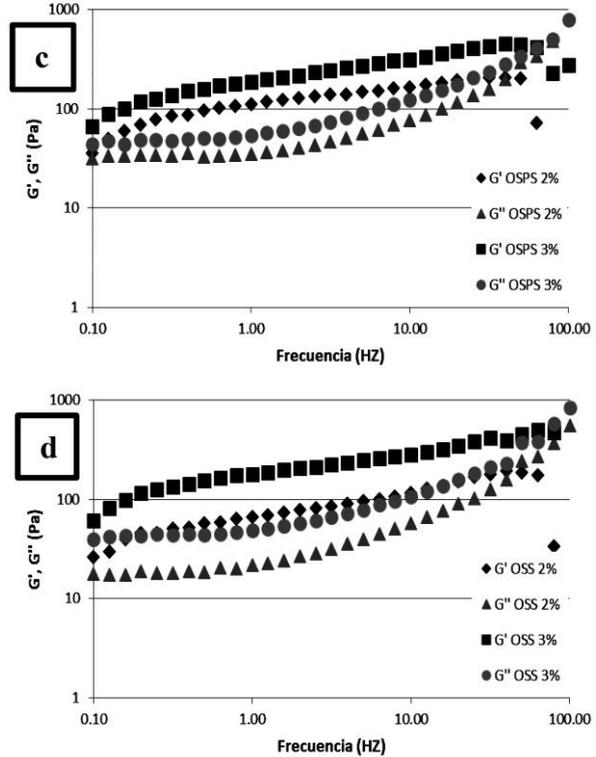
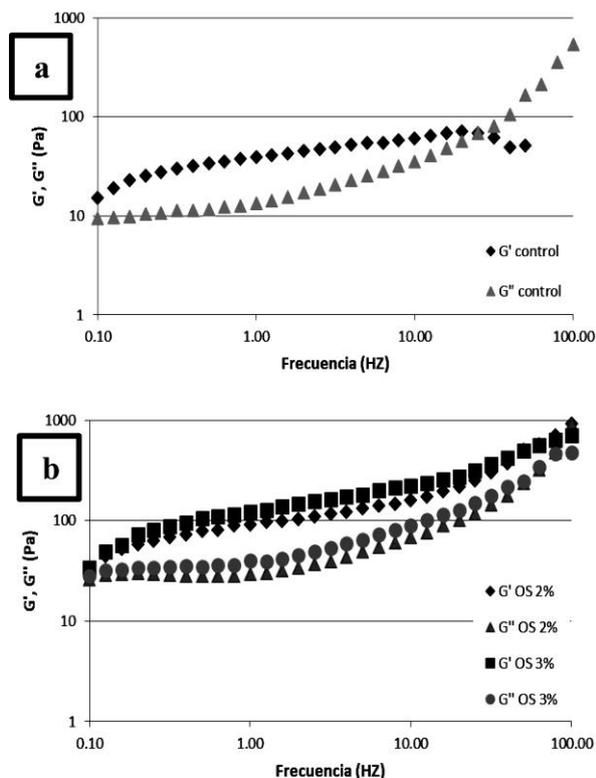
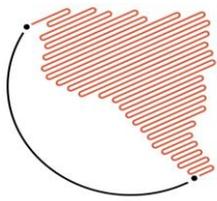


Figura 3: Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y de pérdida ( $G''$ ) de los batidos: a) muestra control, b) muestras OS, c) muestras OSPS y d) muestras OSS

En todas las muestras el módulo elástico ( $G'$ ) fue mayor que el viscoso ( $G''$ ), lo que indica que los batidos poseen un comportamiento de sólido viscoelástico. Todos los batidos con agregado de okara mostraron valores mayores de ambos módulos comparados con el control, lo que muestra que el okara de soja contribuiría a mejorar la consistencia de los mismos. Se ha señalado en estudios anteriores que la adición de fibra mejora la capacidad del sistema de retener agua, formar geles y confiere efectos espesantes sobre el mismo (Sivam y col., 2010). Esta capacidad espesante varía en función del tipo de fibra y se correlaciona con el gran número de grupos hidroxilo presentes en dichas macromoléculas, los cuales permiten



establecer interacciones con el agua del batido mediante puentes de hidrógeno (Sabanis y col., 2009). Asimismo, se ha observado que un fortalecimiento de la red proteica también mejora la retención de agua en los batidos, generando un aumento en la consistencia de los mismos (Renzetti y col., 2008). Se observa que un aumento en la concentración de las diferentes muestras de okara generó un incremento significativo de los valores de  $G'$ , lo cual puede correlacionarse directamente con una mayor consistencia de los batidos. Este aumento de consistencia fue apreciable, en forma visual, durante el correspondiente proceso de batido.

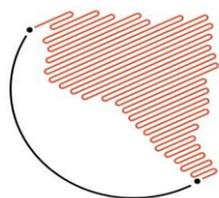
Las formulaciones sonicadas (OSS y OSPS) al 3% fueron las que presentaron una mayor consistencia. Esto demuestra una influencia significativa del proceso de sonicación sobre las muestras de okara de soja. Si bien este proceso de alta energía no generó cambios notorios en la composición de las muestras, posiblemente haya generado una modificación estructural de las macromoléculas que las componen, dando lugar a la presencia de partículas de menor tamaño y posiblemente a una disposición y exposición diferencial de los grupos funcionales presentes en las mismas.

#### • *Evaluación de calidad de panificados*

En las formulaciones de panes sin gluten se busca obtener similitudes respecto al pan de trigo, tanto en el volumen específico como en

la textura, color y propiedades de la miga. Una de las estrategias empleadas para alcanzar este objetivo es utilizar distintos tipos de ingredientes con el objetivo de tratar de imitar las propiedades viscoelásticas de la red de gluten. Son muy utilizados para tal fin los hidrocoloides, fibras y proteínas de diversos orígenes (Moore y col, 2004; Gallagher y col, 2004; Ziobro y col, 2013; Mezaize y col, 2009; Renzetti y col, 2008).

- Volumen específico del pan: El volumen específico (VE) del pan depende de varios factores, como la viscosidad de los batidos, la relación amilosa/amilopectina, la presencia de componentes tensioactivos y/o la agregación de proteínas durante la cocción (Alvarez-Jubete y col., 2010). En la Figura 4 se muestran los valores obtenidos de volumen específico para las formulaciones realizadas. El pan control exhibió un VE significativamente más bajo que los panificados con agregado de okara. Esto se debe a la ausencia de una matriz capaz de retener gas eficientemente, provocando que el mismo se escape del seno de la masa durante el horneado. En cambio, en todos los panificados en los cuales se adicionó alguna de las fracciones de okara de soja se obtuvo un VE mayor al del panificado control, lo cual es indicativo de que se obtiene una mayor retención de aire. Esto podría encontrarse relacionado con que los distintos tipos de okara presentan un alto contenido de fibra y proteína. Se ha observado en otros trabajos (Sabanis y col., 2009; Martínez y col., 2014;



Sivam y col., 2010), que la adición de fibra afecta la consistencia y el VE de panes libres de gluten debido a su interacción con otros ingredientes, favoreciendo la formación de una matriz capaz de retener aire. Resultados similares han sido obtenidos por el agregado de proteínas.

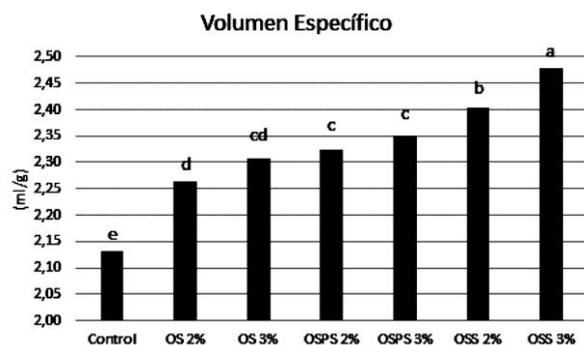


Figura 4: Volumen específico de los panes analizados

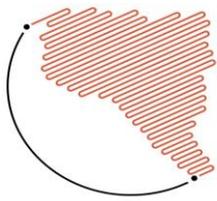
Los panes realizados con OSPS no aumentaron considerablemente el VE respecto de los realizados con OS, es decir que la sonicación de la dispersión de okara de soja, previa a la panificación, no trajo efectos significativos en esta propiedad tecnológica. En cambio, el aumento de VE sí fue significativo con el agregado de OSS, lo que implicaría que la sonicación realizada durante el proceso de obtención da lugar a un producto de diferentes características, que podría interactuar con los componentes de la matriz panaria aumentando la capacidad de retener gas.

Se observó que los panificados en los cuales se adicionó un 3% de OSS presentaron un VE mayor a los obtenidos con un 2% de la misma. Por lo cual, se podría decir que la capacidad de retener gas tiene una

correlación positiva con la cantidad de muestra agregada. Sin embargo, se observó que existe un límite cuando se emplea OSS a partir del cual el VE comienza a disminuir, ya que con el agregado de un 4% de OSS se observó una disminución del VE (resultados no mostrados). Otros autores también han observado una relación directa entre la adición de fibra dietaria y el volumen específico hasta una cierta concentración, a partir de la cual los panificados resultan en un volumen específico inferior (Moore y col, 2004).

El efecto ocasionado por el empleo de OSS podría encontrarse vinculado con la formación de una matriz más resistente. La disminución en el tamaño de partícula de las estructuras compuestas por proteínas y fibras permitiría un mejor reordenamiento del okara en las paredes alveolares que se traduce en una mayor retención del gas y el aumento de volumen de los panes. También podría influir positivamente la aparición de sitios hidrofílicos generados por el despliegue de las estructuras de dichas macromoléculas, favoreciendo la absorción de agua y el reordenamiento en las paredes de los alveolos.

- Textura de la miga: La dureza de la miga es un atributo de textura muy importante en panificados, ya que los consumidores la asocian con la frescura del pan (Sabanis y col., 2009). En los productos sin TACC, la ausencia de gluten aumenta la migración de



agua de la miga de pan hacia la corteza durante el horneado, dando como resultado una miga más firme y una corteza más suave (Gallagher y col., 2004). En la Figura 5 se muestran los resultados de dureza obtenidos para cada formulación realizada. En el control se observó disparidad en la dureza de la miga para distintas regiones. Se obtuvo una miga compacta y de mucha mayor dureza en la parte inferior del pan (base) y más blanda y con grandes alveolos en la parte superior del mismo. Esto podría deberse a que no existe una matriz capaz de retener eficientemente el gas durante el horneado, por lo que éste migra al exterior mientras que el almidón gelatiniza durante el proceso de cocción, dando lugar de este modo a dos zonas diferenciadas. Este efecto no se observó en los panes con agregado de las distintas fracciones de okara de soja, habiéndose obtenido en todos los casos panes con migas de dureza homogénea en todo el producto.

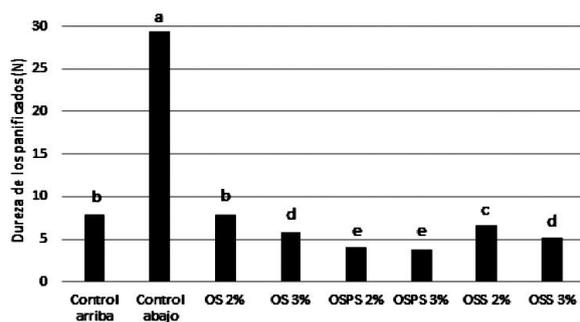
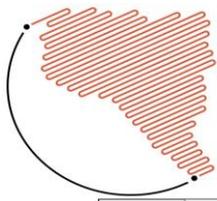


Figura 5: Dureza de los panificados. \* Letras distintas corresponden a valores significativamente

Se obtuvo mediante el análisis estadístico (Anova bifactorial) que la firmeza del pan se ve afectada por el tipo y concentración de okara, y que existe también una relación

entre estos dos factores. El empleo de okara de soja dio lugar a una disminución de la dureza respecto al control en todos los casos, excepto con OS 2% donde no se observaron diferencias significativas respecto a la parte superior del control. A igual nivel de adición, se obtuvieron migas más blandas con OSPS y OSS que con OS, lo que evidencia un efecto positivo del sonicado. Las panificaciones realizadas con agregado de OSPS fueron las que resultaron con menores valores de firmeza. Estos resultados se corresponden con las características reológicas de los batidos. Los batidos con OSPS exhibieron mayores valores de  $G^*$ , a igual concentración, que las formulaciones con otros tipos de okara. Demirkesen y col. (2010) indicaron que en general, valores más altos de los módulos  $G'$ ,  $G''$  y  $G^*$  de los batidos resultan en valores más bajos de dureza de los panes. Además, se encontró una correlación negativa entre la dureza y el VE. Así, los panes con mayores VE presentaron una menor dureza. Asimismo, se ha demostrado que a medida que el VE disminuye, la esponjosidad también lo hace, probablemente a causa de la mayor cantidad de interacciones que se establecen entre las moléculas que quedan así empacadas más densamente, obteniéndose productos de mayor dureza (Sciarini, 2011).

En la Tabla 2 se muestran los parámetros texturales cohesividad, consistencia, elasticidad, resiliencia y masticabilidad de las formulaciones analizadas.



	Control (arriba)	Control (abajo)	OS 2%	OS 3%	OSPS 2%	OSPS 3%	OSS 2%	OSS 3%
<b>Cohesividad</b>	0,665 (de)	0,630 (f)	0,655 (e)	0,677 (bc)	0,685 (b)	0,698 (a)	0,669 (cd)	0,679 (b)
<b>Consistencia (N*s)</b>	101 (bc)	362 (a)	108 (b)	78 (d)	54 (e)	50 (e)	91 (c)	70 (d)
<b>Elasticidad</b>	0,975 (ab)	0,928 (d)	0,952 (c)	0,972 (ab)	0,962 (bc)	0,980 (a)	0,957 (bc)	0,974 (ab)
<b>Resiliencia</b>	0,490 (ab)	0,449 (e)	0,471 (d)	0,486 (b)	0,484 (bc)	0,494 (a)	0,480 (c)	0,484 (bc)
<b>Masticabilidad (N)</b>	5,15 (b)	17,23 (a)	4,91 (b)	3,87 (cd)	2,73 (e)	2,58 (e)	4,27 (c)	3,45 (d)

Tabla 2.: Parámetros texturales de las diferentes formulaciones analizadas. \* Letras distintas corresponden a valores significativamente diferentes para cada parámetro ( $p < 0,05$ )

Se puede observar que para todos los parámetros texturales del panificado control existen grandes diferencias significativas entre la parte superior e inferior del mismo. Esto da la pauta de que se obtiene un producto heterogéneo en sus características texturales. Con el agregado de okara de soja se obtuvieron productos de características uniformes en todos los casos. Las interacciones entre el almidón y los demás componentes macromoleculares son importantes para los cambios estructurales que ocurren en la miga de pan. En los panes libres de gluten, los polisacáridos, como las fibras y las proteínas, son quienes cumplen la función de dar estabilidad a la estructura de la miga (Sabanis y col, 2009).

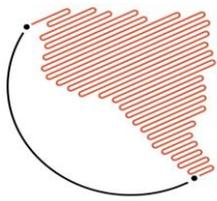
En el caso de la cohesividad, todas las muestras realizadas con okara de soja, a excepción de la formulación con OS 2%, mostraron valores significativamente mayores que el control en sus dos zonas (base y superior). Asimismo, para todos los tipos de okara de soja la cohesividad aumentó significativamente al aumentar la concentración del 2% al 3%. Estos resultados

muestran que con el agregado de okara de soja se logra una matriz con una mejor integración de sus componentes, lo cual es un efecto beneficioso ya que migas con baja cohesividad se fragmentan fácilmente.

La consistencia y masticabilidad siguieron el comportamiento exhibido por la dureza, habiéndose obtenido valores significativamente menores de estos parámetros en todas las muestras con okara de soja. Se detectó una correlación negativa entre dichos parámetros y el incremento de la concentración de okara. Es decir, al aumentar del 2% al 3%, la consistencia, la masticabilidad y la dureza disminuyeron significativamente, a excepción de las formulaciones con OSPS donde la disminución no fue estadísticamente significativa.

Con respecto a la capacidad de recuperación de la miga ante una deformación (elasticidad y resiliencia), se observó una leve mejora por el uso de los diferentes tipos de okara, pero debido a su magnitud es probable que no sea percibida como tal ante el consumidor.

Estos resultados mostrarían la capacidad del okara de soja como mejorador de las características texturales de los panificados libres de gluten. Además, evidencian que el proceso de sonicación de las dispersiones modifica las características del mismo, dando lugar a cambios estructurales que contribuirían en mayor medida a la retención de aire del batido.



Se observó que la panificación adicionada con 3% de OSPS obtuvo los mejores valores para todos los parámetros texturales, seguida de los panes realizados con OSPS 2% y con un 3% de OSS.

- Porosidad de la miga: Al momento de la elección del pan, uno de los atributos más importantes para los consumidores es la estructura de la miga. Con respecto al pan convencional de trigo, se prefiere una estructura fina y homogénea. Sin embargo, los panes libres de gluten en general poseen paredes alveolares muy gruesas y una estructura densa e irregular, que resulta de la dificultad para incorporar gases durante el batido y/o retener el CO<sub>2</sub> formado durante la fermentación, debido a la ausencia de una red viscoelástica capaz de realizar esta función (Sciarini, 2011).

En la Figura 6 se muestra el porcentaje de porosidad presente en las migas de los panes formulados. La porosidad, o el área relativa de alvéolos, representa el porcentaje de aire de la rodaja de pan en relación con el área total de la misma. Este parámetro se interpreta como la capacidad de retención de gas de la matriz.

En las masas de trigo la expansión de los panes se da en dos etapas. Durante la primera, las celdas de aire en expansión son soportadas por la matriz de almidón-gluten que se desarrolla en una membrana delgada. En la segunda etapa, es la película líquida que rodea las celdas de aire la que mantiene

la integridad de las células gaseosas a medida que aumentan las discontinuidades en la matriz de almidón-gluten. En un sistema de masa batida donde no existe la matriz almidón-gluten y/o hidrocoloides, la expansión de la masa se basa totalmente en la estabilidad de la película líquida alrededor de las celdas (Renzetti y col., 2008).

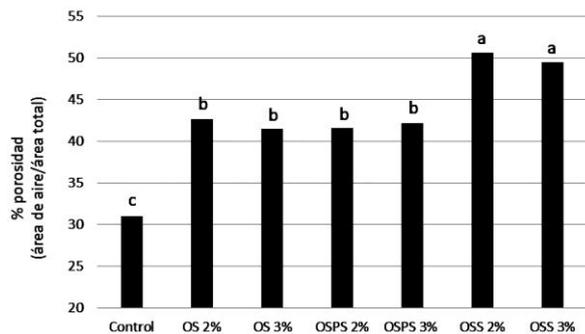
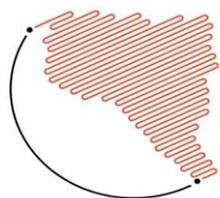


Figura 6: Porosidad de los panificados realizados. \* Letras distintas corresponden a valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

En este sentido, todas las formulaciones realizadas con la adición de las diferentes muestras de okara de soja presentaron un aumento significativo de la porosidad de la miga con respecto al control. Se puede observar que el agregado de estas muestras, compuestas mayoritariamente por proteínas y fibra, les confirió a los panes una mayor estabilidad y capacidad de interacción para la formación de una matriz elástica con propiedades semejantes a las del gluten, aumentando así el porcentaje de porosidad de los mismos. Particularmente, al comparar el efecto generado sobre este parámetro por los diferentes okara de soja, se encontró que los panificados realizados con OSS fueron los que mayor porcentaje de aire retenido



presentaron, seguidos por los panes obtenidos con OS y OSPS, que no presentaron diferencias significativas. Estos resultados se relacionan directamente con los obtenidos durante el análisis del volumen específico de los panes.

- Humedad y Actividad Acuosa de la miga: La actividad de agua y la humedad son parámetros importantes relacionados con la calidad del pan dado que están altamente relacionados con el proceso de retrogradación en sistemas basados en almidón (Miñarro y col., 2012). Los valores de actividad acuosa encontrados (0,9715-0,9744) para todas las formulaciones se hallan cercanos a los informados para la miga del pan con gluten ( $0,963 \pm 0,001$ ) (Moore y col., 2004). Si bien en algunos casos el análisis estadístico indicó diferencias significativas entre los valores de humedad y  $a_w$  de las distintas formulaciones, no se consideran de gran relevancia desde el punto de vista de la calidad tecnológica del pan.

- Color: El color de un panificado es un atributo importante de calidad dado que, junto con la textura y el aroma, contribuye a las preferencias del consumidor. El mismo depende de las características fisicoquímicas de la masa (contenido de agua, pH, azúcares reductores y contenido de aminoácidos) y de las condiciones de operación aplicadas durante la panificación (temperatura, humedad relativa, modos de transferencia de calor) (Sabanis y col., 2009). A diferencia de

los panes hechos a base de harinas de trigo, los panificados sin gluten, que en gran parte son realizados a base de almidón de maíz o harina de arroz, suelen presentar un color más claro (Gallagher y col., 2004).

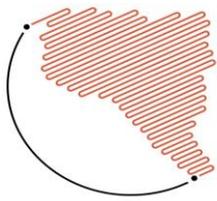
En la Tabla 3 se observan los valores de L, a y b obtenidos para las migas de todos los panificados.

	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>Control</b>	65,730 (ab)	-2,834 (d)	8,934 (b)
<b>OS 2%</b>	63,812 (c)	-2,241 (c)	9,711 (ab)
<b>OS 3%</b>	65,308 (b)	-5,155 (e)	13,054 (ab)
<b>OSPS 2%</b>	66,320 (a)	-2,084 (b)	14,352 (a)
<b>OSPS 3%</b>	65,596 (ab)	-5,244 (e)	13,222 (ab)
<b>OSS 2%</b>	63,632 (c)	-2,056 (b)	9,772 (ab)
<b>OSS 3%</b>	63,625 (c)	-1,915 (a)	10,193 (ab)

Tabla 3 Valores de Lab de las migas de las diferentes formulaciones estudiadas. \*Letras diferentes es una misma columna corresponden a valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

A pesar de que todas las fracciones de okara de soja utilizadas contienen proteínas (36,81% en el caso de OS y 38,1% para OSS), se agregaron en bajos niveles (2-3%) por lo que no se observó, en general, una disminución considerable de la luminosidad en la miga de los panificados adicionados con okara, sino que se obtuvo una luminosidad muy similar a la del control.

La fibra que conforma las diferentes fracciones de okara afecta la disponibilidad



de agua, lo que debería impactar en las reacciones de pardeamiento no enzimático (Mezaize y col., 2009). Sin embargo, las escasas diferencias en los valores de luminosidad pueden explicarse teniendo en cuenta que la miga no alcanza temperaturas tan altas durante el horneado como la necesaria para que ocurran las reacciones de Maillard y la caramelización por lo que no se evidencian en la misma proporción que en la corteza (Miñarro y col., 2012).

Por otro lado, a pesar de que se observan diferencias significativas en los parámetros de a y b en los panes con diferentes tipos de okara respecto al control, estas variaciones son despreciables tecnológicamente hablando y probablemente no sean percibidas por el ojo humano.

- Microscopía electrónica ambiental: En la Figura 7 se muestran las micrografías correspondientes a la miga del pan control y del pan con OSS al 3%. En las imágenes con menor magnificación (500x) se pueden observar en detalle las características estructurales de los alvéolos mientras que en las de mayor magnificación (800x y 1500x) es posible apreciar la microestructura de la pared alveolar y la disposición de sus componentes en ella. En ambas formulaciones se observan gránulos de almidón parcialmente gelatinizados (conservan parcialmente su estructura) insertos en una matriz formada por las proteínas coaguladas (de arroz y huevo) y la

amilosa lixiviada. Esto se aprecia con mayor claridad en las micrografías a 1500x (Figuras 7.c y 7.f). En la formulación control, el alvéolo presenta una estructura irregular, discontinua y con paredes agrietadas. En la Figura 7.b puede observarse en detalle una grieta. Esta estructura con fisuras en las paredes alveolares es compatible con una retención de gas pobre, lo que daría lugar a panes de bajo volumen específico. En las micrografías correspondientes a OSS 3% se puede observar que el alvéolo presenta un aspecto más regular, uniforme y sin la presencia de fisuras. Además, las paredes que rodean a los alvéolos parecen ser continuas y de mayor grosor lo que contribuiría a la estabilización de los mismos. Estas características de la matriz de OSS 3% son compatibles con el mayor volumen específico alcanzado por esta formulación lo cual podría atribuirse a la formación de una estructura continua en la interfase gas/líquido lo que favorecería la estabilización del alvéolo.

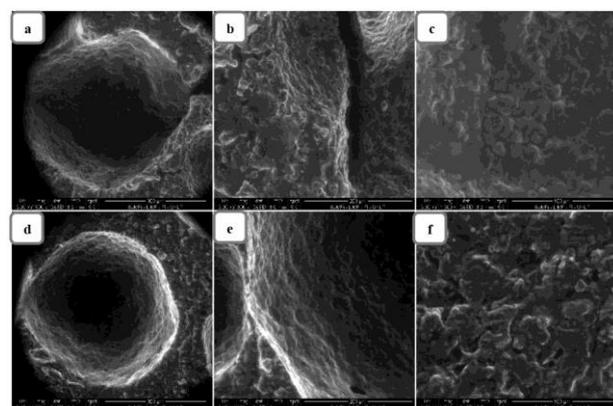
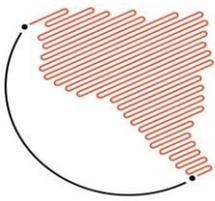


Figura 7: Micrografías de la miga de las formulaciones control (arriba) y OSS3% (abajo) a 500x (a y d), 800x (b y e) y 1500x (c y f).



### • Evaluación sensorial

Dado que la panificación OSS 3% fue la que obtuvo mejores características panarias, se escogió dicha formulación para ser evaluada sensorialmente y compararse frente a la panificación control. Si bien los panes con OSS al 3% también presentaron muy buenos resultados en cuanto a la reología de los batidos y a los parámetros de textura, el pan realizado con OSS al 3% presentó, además, la cualidad diferencial de poseer el valor más alto de volumen específico y los mejores niveles de porosidad entre las muestras realizadas, lo que determinó su elección para la realización del ensayo de evaluación sensorial.

Los resultados de aspecto general, textura, aceptabilidad global, esponjosidad de la miga y sabor se muestran en la Figura 8.

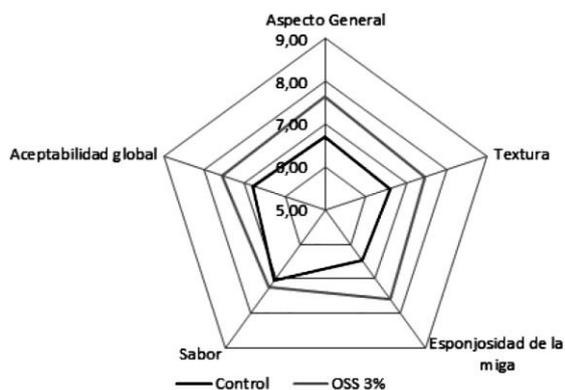


Figura 8: Resultados de análisis sensorial del pan control y el pan con OSS 3%

Puede observarse que la panificación con OSS 3% obtuvo, para todos los descriptores, valores más altos que el control. Esto se ve reflejado también en los resultados de

preferencia de los panelistas, donde se obtuvo que el 75% de los evaluadores prefiere la muestra optimizada con okara (Figura 9).

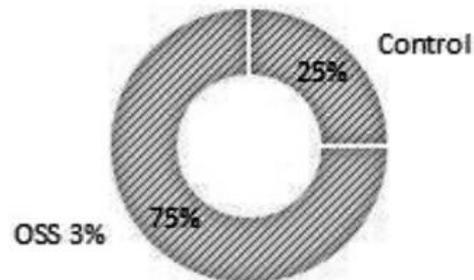
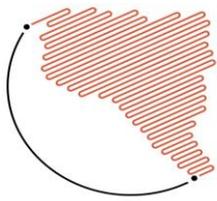


Figura 9: Preferencia de los consumidores

De acuerdo a los comentarios de los consumidores, el color del pan con okara se asemeja más al pan de trigo. Por otra parte, percibieron una miga más esponjosa y menos compacta. Por el contrario, el control tuvo una menor aceptabilidad debido a falta de color y por tener una miga menos homogénea y con menor esponjosidad. Entre los defectos más comunes que detectan los consumidores en panes libres de gluten, se encuentran la sequedad, la sensación de partículas en la boca durante el consumo y un sabor poco satisfactorio (Houben y col., 2012). Sin embargo, no se han reportado comentarios en relación a dichos defectos para las muestras analizadas, sino que en ambas muestras se reportó haber experimentado una sensación de frescura.

Con respecto al sabor, no hubo diferencias notables de acuerdo a la opinión de los panelistas. Esto indicaría que el agregado de okara no afecta al sabor que posee originalmente el pan control, del cual se



distinguió mayormente el gusto característico de la harina de arroz.

### **Conclusiones**

Los resultados del presente trabajo muestran que la calidad tecnológica de las formulaciones de panes libres de gluten puede mejorarse significativamente mediante la adición de okara de soja. Este subproducto de la industria de la sojera se compone principalmente por fibra dietaria y proteínas insolubles. Se obtuvo que la apariencia global de todos los panificados con okara mejoraron respecto de la formulación control. Esto se debe a que el okara contribuye, mediante la adición de fibras y proteínas, a la formación de una matriz capaz de retener el gas generado durante la fermentación, dando lugar a una mejora de los parámetros texturales, el volumen específico y el alveolado de la miga. Estos resultados se correlacionan con los obtenidos en el análisis reológico, ya que todas las formulaciones con agregado de okara de soja presentaron mejores propiedades de viscoelasticidad comparadas con el control. Se obtuvieron batidos con una mejor retención de agua y una correlación positiva entre la concentración de okara y el aumento de consistencia.

Por otra parte, se comprobó que la sonicación del okara (tanto en OSS como para OSPS) les confirió a los productos obtenidos una textura ampliamente optimizada. Si bien los panes con OS también mejoraron la textura,

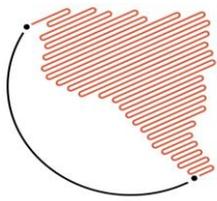
las muestras sonicadas produjeron mejoras más notables en los parámetros de textura.

En términos generales, se pudo ordenar las muestras de okara según su capacidad para mejorar la calidad panaria de la siguiente forma: OSS>OSPS>OS. Se concluye que la sonicación del okara de soja durante el proceso de obtención modificó la estructura de la misma, haciendo que esta tenga una mayor capacidad como agente mejorador del batido. Esto se debe a la disminución del tamaño de partícula del okara durante dicho proceso de alta energía y posiblemente a la mayor exposición de grupos funcionales generando un mayor grado de interacción con los otros componentes de la matriz, particularmente, los relacionados a la generación de la pared alveolar.

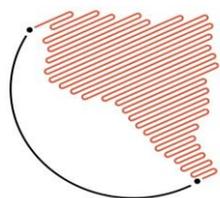
La formulación optimizada seleccionada (pan con el agregado de OSS al 3%) tuvo una gran aceptación al someterse a la evaluación sensorial por parte de un panel no entrenado conformado por personas no celíacas. Esto indica que las mejoras en la calidad fueron también percibidas por el consumidor. A su vez, se obtuvo que la adición de okara en panes no interfiere en el sabor de forma perceptible para los consumidores, ya que no se detectaron cambios con respecto a la formulación control.

### **Referencias Bibliográficas**

AACC International (2000). Methods 32-05.01. Approved Methods of the American



- Association of Cereal Chemists (10th ed.). St. Paul, EEUU: The American Association of Cereal Chemist.
- Álvarez-Jubete, L., Auty M., Arendt E.K. (2010) Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research Technology*, 230, 437-445.
- Bourne M.C. (2002). Chapter 1 - Texture, Viscosity, and Food. In: M.C. Bourne (Ed.). *Food Texture and Viscosity (Second Edition)* (pps. 1-32), Cambridge, EEUU. Academic Press.
- Catassi, C. & Fasano, A. (2008). Enfermedad celíaca. In: E. Arendt & F. Dal Bello (Eds.). *Gluten-free cereal. Products and Beverages* (pp. 10-13), Cambridge, EEUU. Academic Press.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G. & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.
- Gallagher, E., Gormley, T. R. & Arendt, E. K. (2004). Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161.
- Hager, A., Wolter A., Czerny, M. Bez, J., Zannini, E. & Arendt, E. (2012) Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research Technology*, 235, 333-344.
- Hleap, J. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8, 46-56.
- Houben, A., Höchstötter, A. and Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, 235 (2), 195-208.
- Lee, S.K., Lo, W., Memeo, L., Rotterdam, H. & Gree, P. H. (2003). Duodenal histology in patients with celiac disease after treatment with a gluten-free diet. *Gastrointestinal Endoscopy*, 57, 187-191.
- Martínez, M., Díaz, Á. and Gómez, M. (2014). Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 49-56.
- Mateos-Aparicio I., Redondo-Cuenca A., Villanueva MJ (2013). Dietary Fiber from the Food Industry by-Products. In: Nova Science Publishers (Eds). *Dietary Fiber: Sources, Properties and Their Relationship to Health* (p. 23). New York, EEUU. Nova Biomedical.
- Mezaize, S., Chevallier, A., Le Bail, A. & Lamballerie, M. (2009) Optimization of Gluten-Free Formulations for French-Style Breads. *Journal of Food Science*, 74 (3), 140-146.



Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B. & Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 476-481.

Moore, M., Schober, T., Dockery, P. & Arendt, E. (2004). Textural Comparisons of Gluten-Free and Wheat-Based Doughs, Batters, and Breads. *Cereal Chemistry Journal*, 81(5), 567-575.

Renzetti, S., Dal Bello, F. & Arendt, E (2008). Microstructure fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 48, 33-45.

Sabanis, D., Lebesi, D. & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1380-1389.

Sciarini, L. (2011). Estudio del efecto de diferentes aditivos sobre la calidad y la conservación de panes libres de gluten. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de La Plata.

Sfoggia, C. (2018). Trastornos psicológicos y Enfermedad Celíaca. *Mundo Celíaco*, 21, 10-13.

Sivam, A., Sun-Waterhouse, D., Quek, S. & Perera, C. (2010). Properties of Bread Dough with Added Fiber Polysaccharides and Phenolic Antioxidants: A Review. *Journal of*

*Food Science*, 75(8),163-174.

Ziobro, R., Witczak, T., Juszcak, L. & Korus, K. (2013) Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and bread characteristic. *Food Hydrocolloids*, 32, 213-220.

### **Agradecimientos**

Al establecimiento Terminal 6 (Puerto Gral. San Martín, Provincia de Santa Fe, Argentina) por proveernos gratuitamente las hojuelas de soja. A la empresa Ovobrand por proveernos de manera gratuita la clara de huevo en polvo. Al CONICET, al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) por las becas de los estudiantes Moscoso Ospina (doctoral), Lionello (grado) y Garófalo (grado), respectivamente.

### **Financiamiento**

Universidad Nacional de Quilmes (Proyecto de I+D 53/1037) y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCyT, PICT 2014-1267 y PICT 2015-0084).