



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Aplicación de un hidrolizado de proteínas de salvado de trigo como tratamiento previo al secado de cubos de papa

### Application of a hydrolysate of wheat bran proteins as pre-treatment to drying potato dices

**Hermosillo-Bernal, S.A., Balandrán-Quintana, R.R., Mendoza-Wilson, A.M.**

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Calle Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Ejido La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, México.  
[hermosillosergio30@gmail.com](mailto:hermosillosergio30@gmail.com); [rbalandran@ciad.mx](mailto:rbalandran@ciad.mx); [mwilson@ciad.mx](mailto:mwilson@ciad.mx)

**Innovación tecnológica.** Alternativa sostenible a los pretratamientos convencionales en el secado de papa.

**Área de aplicación industrial.** Industria alimentaria; secado de frutas y vegetales.

Recibido: 24 julio 2020

Aceptado: 20 septiembre 2020

#### Abstract

It was assessed the application of a wheat bran protein hydrolysate as pre-treatment to drying potato dices. Its effects were compared with the conventional pre-treatments of immersion in bisulfites, blanching at 100 °C, or immersion in water at 25 °C as control. Color ( $L^*$ , °Hue, and Chroma), moisture content, and water activity ( $A_w$ ) were analyzed in the dry dices. The dry dices were rehydrated in water bath at 25 °C and subsequently cooked at 90 °C. Then, they were characterized in terms of color, firmness (resistance to compression), and through a simple sensory evaluation test. There were significant differences in  $L^*$  and  $A_w$  between pre-treatments. In the rehydrated and cooked dices, the lowest  $L^*$  value was found in those coming from blanching, with no significant differences among the rest of the treatments. The cooked dices corresponding to blanching had a higher firmness than the rest of the pre-treatments. The general acceptance of the pretreated and cooked cubes, with respect to the pretreatment applied, was in the order bisulfites  $\geq$  hydrolysate  $>$  water  $>$  blanching. The results suggest the feasibility of using the wheat bran hydrolysate as pre-treatment to drying potato dices.

**Keywords:** Convection drying, agro-industrial by-products, food processing.

## Resumen

Se evaluó la aplicación de un hidrolizado de proteína de salvado de trigo como pretratamiento para el secado de cubos de papa. Sus efectos se compararon con los pretratamientos convencionales de inmersión en bisulfitos, escaldado en agua a 100 °C o inmersión en agua a 25 °C, este último considerado el pretratamiento control. En los cubos secos se analizó el color ( $L^*$ , °Hue y Chroma), el contenido de humedad y la actividad del agua ( $A_w$ ). Los cubos secos se rehidrataron en baño de agua a 25 °C y posteriormente se cocinaron a 90 °C. Luego, se caracterizaron en términos de color, firmeza (resistencia a la compresión) y mediante una prueba de evaluación sensorial simple. En los cubos secos, hubo diferencias significativas en el parámetro de color  $L^*$  y la  $A_w$  entre pretratamientos. En los cubos rehidratados y cocidos, el valor más bajo de  $L^*$  se encontró en aquellos provenientes del pretratamiento de escaldado, sin haber diferencias significativas entre el resto de los tratamientos. Los cubos cocidos correspondientes al escaldado tuvieron una mayor firmeza que los del resto de los pretratamientos. La aceptación general de los cubos pretratados y cocidos, respecto al pretratamiento aplicado fue en el orden bisulfitos  $\geq$  hidrolizado  $>$  agua  $>$  escaldado. Los resultados sugieren la factibilidad de usar el hidrolizado de salvado de trigo como pretratamiento para el secado de cubos de papa.

**Palabras clave:** Secado por convección, subproductos agroindustriales, procesamiento de alimentos.

## 1. Introducción

El secado de frutas y vegetales es un método de procesamiento que permite obtener productos con larga vida de anaquel, ya que la baja actividad de agua ( $A_w$ ) inhibe el crecimiento de microorganismos, la actividad de distintas enzimas y otras reacciones de deterioro (Rodríguez et al., 2019). Uno de los primeros pasos en el proceso de secado es estabilizar el tejido para evitar el desarrollo de reacciones que mermen la calidad del producto seco. La estabilización se logra aplicando algún tratamiento previo al secado, cuyos objetivos son inactivar la enzima polifenol oxidasa (PPO), responsable del oscurecimiento enzimático, y/o eliminar el oxígeno ocluido en los tejidos. Ambos objetivos se pueden lograr mediante escaldado en agua caliente (Severini et al., 2005). Otro método es la aplicación de aditivos como los bisulfitos, que compiten con la PPO por el oxígeno presente. El alto gasto de energía, la lixiviación de nutrientes y el daño estructural al tejido son desventajas

del escaldado o blanqueo. Por otro lado, el uso de bisulfitos puede desencadenar reacciones alérgicas en personas susceptibles (Rangan and Barceloux, 2008), además de provocar una percepción negativa por parte del consumidor por tratarse de aditivos de origen no natural.

En la actualidad se propone el uso de tecnologías emergentes como alternativa a los pretratamientos convencionales en el secado de vegetales. Entre estas tecnologías destacan las de pretratamiento no térmico (TPNT), por ejemplo, el uso de altas presiones, ultrasonido, campos eléctricos pulsados y deshidratación osmótica (Osae et al., 2020). En comparación con el pretratamiento térmico convencional, las publicaciones científicas reportan los beneficios de las TPNT en términos de la prevención de daños que pudieran impactar en el color, textura y valor nutritivo de los productos vegetales secos. Una revisión actualizada sobre este tema es la publicada por Osae et al. (2020). El incentivo para adoptar las TPNT es

principalmente económico, pues se presenta la perspectiva de obtener productos de calidad superior, a una mayor velocidad de producción y un menor costo de operación, además de minimizar el impacto ambiental (Chua and Chou, 2014). No obstante, implementar las tecnologías emergentes a nivel industrial implica una alta inversión, lo cual hace que incluso las grandes compañías tengan reservas al respecto, pues hay distintos factores que ponen en riesgo la rentabilidad, entre ellos la aceptación del consumidor (Priyadarshini et al., 2019).

Los planteamientos anteriores conducen a concluir que la búsqueda de pretratamientos innovadores aplicables al secado de frutas y vegetales no deja de ser un tema de actualidad. Los pretratamientos alternativos deberán cumplir con al menos tres condiciones: 1) ser más económicos en cuanto a los gastos de inversión y de operación; 2) obtener un producto final con calidad similar o superior al obtenido convencionalmente; 3) ofrecer un producto aceptable al consumidor. Los pretratamientos alternativos pudieran ofrecer la ventaja adicional de ser sostenibles, es decir, siendo amigables con el medio ambiente y dando valor agregado a otros insumos. En este contexto, una variedad de subproductos de la industria agroalimentaria son candidatos para valor agregado debido a su composición química, con frecuencia rica en nutrientes y compuestos bioactivos. Entre estos subproductos se encuentra el salvado de trigo (ST).

El ST es un subproducto de la industria de la molienda que se produce en todo el mundo en grandes cantidades y es reconocido como una buena fuente de fibra y proteína de buena calidad (Mandalari et al., 2005, Wang et al., 2009). El ST también es una fuente concentrada de compuestos fenólicos (Verma et al., 2009, Laddomada et al., 2015), por lo que se encuentra entre los subproductos

agroindustriales propuestos como mejores fuentes de antioxidantes naturales (Higuchi, 2014). Sin embargo, el ST se destina principalmente a la alimentación animal, por lo que sus fitoquímicos y proteínas están infrutilizados (Balandrán-Quintana et al., 2015).

Algunos estudios indican que los hidrolizados enzimáticos de ST pueden ser fuentes naturales de antioxidantes y compuestos bioactivos, útiles para la industria alimentaria (Wang et al., 2009, Huang et al., 2013, McCarthy et al., 2013). También hay evidencia, aunque escasa, sobre el potencial de estos hidrolizados para preservar el color de los alimentos que sufren oscurecimiento enzimático. En este respecto, Campas-Ríos et al. (2012) reportaron un 42% de inhibición de la actividad de PPO en extractos crudos de manzana, por aplicación de hidrolizados de albúminas de salvado de trigo. Por otro lado, Castro-Arredondo (2011) y Ortiz-Estrada et al. (2012) reportaron que los hidrolizados de las albúminas o globulinas de salvado de trigo inhiben la actividad de la enzima tirosinasa de champiñón, la cual presenta actividad de PPO, en un 58% y 25%, respectivamente. Lo anterior llevó a razonar que los hidrolizados de ST podrían ser útiles para controlar el oscurecimiento enzimático o los cambios de color en los alimentos.

Con base en este potencial, en el presente estudio se aplicó un hidrolizado de ST como tratamiento previo al secado de cubos de papa. Se evaluaron algunas características sensoriales y de calidad y estas se compararon con los pretratamientos convencionales de escaldado y aplicación de bisulfitos. La importancia del estudio radica en la posibilidad de encontrar una alternativa al uso de aditivos sintéticos en el secado de vegetales.

## 2. Materiales y equipos

*Materiales y reactivos.* Se utilizó salvado de trigo (*Triticum* spp.), obtenido de un molino harinero en Hermosillo, Son., México. La papa (*Solanum tuberosum*), variedad Alfa, se compró en un centro de suministro local. Se seleccionaron tubérculos con una apariencia sana y uniforme que no mostraban golpes, raspones, brotes o signos de infestación por insectos o microorganismos. La enzima Proteasa N de *Bacillus subtilis* (EC 3.4.24.28), el búfer fosfato y demás reactivos fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EUA).

*Equipos.* Autoclave; estufa de convección natural (VWR International LLC, Radnor, PA); molino Foss Tecator 1093 (Cyclotec Hill, Suecia); refrigerador/congelador comercial; baño de agua con control de temperatura Lauda (Ecoline 019, Alemania); centrífuga Allegra X-30R (Beckman Coulter Inc., Brea, CA); liofilizador Freezone 6 (Labconco Co., Kansas, MO); secador de cabina Envito-Pak (CHU-150E, E.U.); balanza digital Sartorius (BL 1500, Alemania); medidor de color Minolta Hunter Lab CR-300 (Konica Minolta Inc., Osaka, Japón); medidor de actividad de agua PawKit AquaLab (Decagon Devices Inc., Pullman, WA); analizador de textura TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido).

## 3. Métodos experimentales

*Extracción e hidrólisis de proteínas de ST.* Como paso previo a la extracción, se esterilizaron en autoclave 600 g de ST a 121 °C durante 15 minutos para destruir la actividad enzimática endógena, principalmente la actividad lipasa (Rose and Pike, 2006). Posteriormente, se eliminaron parte de los residuos de almidón y endospermo, lavando el ST tres veces por inmersión rápida en agua HPLC y secándolo inmediatamente a 40 °C durante 24 h

(Campas-Ríos et al., 2012). Finalmente, el ST se molió en un molino equipado con una malla de 1 mm. El polvo obtenido se mantuvo refrigerado a 4 °C.

Las albúminas y las globulinas se recuperaron utilizando una adaptación del método de Idris et al. (2003), como se describe a continuación. El ST molido se mezcló con el búfer de extracción (fosfato de sodio 50 mM, pH 7.8) en una relación 1:10 p/v. Esta mezcla se agitó en una placa magnética durante 2 h a 4 °C, después de lo cual se centrifugó a 9,000 x g, 15 min y 4 °C. El sobrenadante se filtró y el pH del filtrado se ajustó a 4.0 con HCl. El filtrado se calentó en baño de agua a 90 °C durante 10 min, y luego se enfrió a temperatura ambiente (25 °C) y se centrifugó a 9,000 x g, 10 min, 4 °C. El precipitado se dispersó en agua desionizada, se congeló a -40 °C y se liofilizó durante 24 h. El polvo obtenido después de la liofilización se identificó como el extracto de proteína de ST.

Para la hidrólisis enzimática, se preparó una dispersión de extracto de proteína de ST al 1% (p/v) en búfer Tris-HCl 0.1 mM, pH 7.5. Luego, se calentó en agua hirviendo durante 10 min, se enfrió a 37 °C y se mezcló en una proporción de 10:1 (p/v), con una preparación de proteasa N (100 U/ml). Se dejó transcurrir la hidrólisis colocando esta mezcla en baño de agua a 37 °C durante 1 h. Al final, los viales se sumergieron en agua hirviendo durante 10 min para detener la reacción. El hidrolizado se enfrió a 25 °C en baño de agua y se mantuvo refrigerado a 4 °C hasta su uso.

*Aplicación de tratamientos a cubos de papa y secado.* La papa fue lavada, pelada y cortada en cubos de 1.5 cm. Los cubos fueron sometidos a los siguientes pretratamientos durante 2 min. Inmersión en el hidrolizado de ST en una proporción de 1:1.2 p/v (hidrolizado), escaldado en agua a 100 °C (escaldado), inmersión en bisulfito de sodio al 1% (bisulfitos) e inmersión en agua a

temperatura ambiente de 25 °C (control). En los últimos tres pretratamientos, la relación sólido-líquido fue de 1:10 p/v.

Los cubos de papa de cada pretratamiento se secaron por convección en un secador de cabina, equipado con un microprocesador para controlar tiempo, temperatura y velocidad del aire. Se utilizaron cuatro bandejas de 0.63 x 0.55 m, cubiertas con una malla de acero inoxidable con agujeros cuadrados con área de  $1.61 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ . La velocidad del aire fue de 3 m/s, con 30% de humedad relativa. La temperatura de secado fue de 65 °C, durante el tiempo necesario para alcanzar la estabilización de peso, que se registró cada 20 min para calcular el contenido de materia seca. Las curvas de secado se obtuvieron graficando el contenido de materia seca versus tiempo.

*Evaluación de calidad y propiedades sensoriales de los cubos secos y del producto rehidratado y cocido.* Los cubos secos correspondientes a cada pretratamiento se caracterizaron en términos de las siguientes determinaciones. Color ( $L^*$ ,  $^{\circ}\text{Hue}$  y Chroma), contenido de humedad (método AOAC 925.10, 1990) y actividad de agua ( $A_w$ ). De cada pretratamiento se tomó un lote de cubos de papa secos, que se rehidrataron en agua durante 3 h a 25 °C. Parte de los cubos rehidratados de cada lote se cocinaron en agua durante 30 minutos a 90 °C. Se midió el color de los cubos cocidos rehidratados, reportándose solo el valor  $L^*$  porque es el parámetro más importante en lo que a oscurecimiento de alimentos se refiere. La firmeza, expresada como la resistencia a la compresión (N/mm), se determinó en el analizador de textura, equipado con una sonda cilíndrica de 1.8 cm de diámetro (TA-180). Las condiciones de la prueba de textura fueron: velocidad previa a la prueba, 2 mm/s; velocidad de prueba, 0.5 mm/s; velocidad posterior a la prueba, 10 mm/s; distancia, 0.8 mm; fuerza, 100 g; tiempo, 5 s.

Además, con la finalidad de medir el nivel de agrado (hedónico) y saber si existían preferencias perceptibles entre muestras de los 4 pretratamientos, se llevó a cabo una evaluación sensorial simple, también conocida como prueba de aceptabilidad. Para ello, 10 panelistas o jueces calificaron el color, sabor, aroma, textura y aceptación global de cubos de papa que fueron reconstituidos en agua a 25 °C y cocinados a 90 °C. Para la evaluación se utilizó una escala semántica de 0 a 10, donde 0 representa “Desagradable” y 10 representa “Agradable” para las variables "Color", "Aroma", "Textura al masticar" y "Aceptación global". En el caso de la variable "Sabor a papa cocida", se usó la misma escala, de 0 a 10, donde 0 representa “Nada” y 10 representa “Mucho”. Los jueces se seleccionaron al azar entre el personal de la institución, y el único entrenamiento que recibieron fue informarles días antes sobre el objetivo de la evaluación y cómo se realizaría esta. Al momento de la evaluación, la cual se realizó en el laboratorio de análisis sensorial, a cada juez se le presentaron, en forma secuencial, muestras codificadas con 10 cubos de papa cocida cada una, correspondientes a cada pretratamiento. La presentación de las muestras se hizo en una pequeña charola de aluminio, a la temperatura ambiente de 25 °C. También se les entregaron las hojas con las escalas sobre las cuales marcarían su calificación para cada atributo a evaluar, de acuerdo con su percepción. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar diferencias significativas entre tratamientos. El análisis de medias se realizó mediante la prueba de Tukey. El nivel de significancia fue  $p \leq 0.05$ .

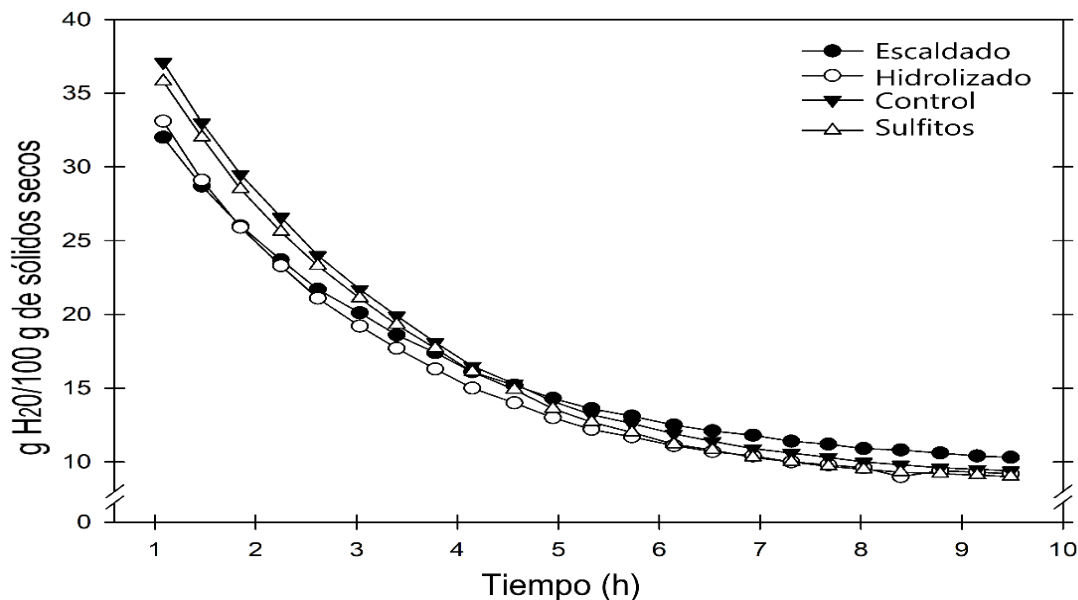
*Análisis estadístico de las mediciones analíticas.* A menos que se indique lo contrario, todas las mediciones analíticas se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como medias  $\pm$  error estándar. Los datos de cada evaluación se analizaron

estadísticamente utilizando un ANOVA unidireccional con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ , utilizando el software NCSS 2007 v 7.1.20 (Kaysville, UT). Para encontrar diferencias entre las medias se realizó la prueba de Tukey-Kramer.

#### 4. Resultados y discusión

*Curvas de secado.* Se obtuvieron curvas de secado típicas (Pabis and Jaros, 2002) para cada uno de los pretratamientos aplicados a los cubos de papa (Figura 1). En general, se observan dos períodos durante los cuales ocurrió la pérdida de humedad. Uno es rápido y de velocidad constante durante aproximadamente las primeras 3.5 h, seguido de otro de velocidad decreciente que duró hasta que se alcanzó la estabilidad de peso a las 9.5 h. En las primeras 3 h del período rápido, se observa el mismo contenido de

materia seca en los pretratamientos control y bisulfitos, así como en los correspondientes a escaldado e hidrolizado, siendo mayor en el primer par. Tales resultados significan que los pretratamientos escaldado e hidrolizado causaron menos pérdida de humedad durante las primeras 3 h, posiblemente causado por el colapso de los capilares en el tejido, dejando agua atrapada en ellos (Pabis and Jaros, 2002). Después del escaldado, se observó una consistencia gomosa en la superficie de los cubos de papa, posiblemente relacionada con la gelatinización del almidón presente, que formó una costra durante el secado y constituyó una barrera para la transferencia de humedad. En el caso del hidrolizado, aunque no se observó diferencia con respecto a la consistencia de la superficie, también podría haberse formado una barrera resistente a la pérdida de agua, debido a su composición, rica en polisacáridos y péptidos (Dehnad et al., 2016).



**Figura 1.** Curvas de secado de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos y secados por convección a 65 °C.

*Evaluación de color en cubos de papa secos.* La luminosidad ( $L^*$ ) y el tono ( $^{\circ}$ Hue) de la papa deshidratada pretratada con el

hidrolizado fueron estadísticamente iguales a los del control ( $p \leq 0.05$ ) pero diferentes de los observados en los pretratamientos

bisulfitos y escaldado (Tabla 1), encontrando en estos dos últimos el valor tanto más alto como más bajo de  $L^*$ , respectivamente. Un valor más alto de  $L^*$  indica un color más claro y uniforme (Iciek and Krysiak, 2009). Hubo diferencias significativas con respecto a la saturación de color (Chroma), siendo este parámetro mayor en todos los pretratamientos que en el control. El Chroma más alto se

observó en el escaldado, seguido por el hidrolizado, mientras que control y bisulfitos compartieron el valor más bajo. Los valores bajos en  $L^*$  y altos en Chroma están relacionados con colores oscuros u opacos; tal fue el caso de las papas escaldadas, con el valor más bajo tanto en  $L^*$  como en  $^{\circ}$ Hue y casi el doble de la saturación o el valor de Chroma que el resto de los pretratamientos.

**Tabla 1.** Valores de  $L^*$ ,  $^{\circ}$ Hue y Chroma de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos y secados por convección a 65 °C.

Pretratamiento	$L^*$	$^{\circ}$ Hue	Chroma
Control	47.84 ± 1.96 <sup>a</sup>	267.78 ± 0.49 <sup>a</sup>	20.06 ± 0.67 <sup>b</sup>
Hidrolizado	51.72 ± 1.96 <sup>a</sup>	268.18 ± 0.44 <sup>a</sup>	23.34 ± 0.77 <sup>a</sup>
Escaldado	29.72 ± 1.96 <sup>b</sup>	92.740 ± 0.44 <sup>b</sup>	43.04 ± 0.77 <sup>c</sup>
Bisulfitos	60.11 ± 1.70 <sup>c</sup>	99.840 ± 0.49 <sup>c</sup>	20.91 ± 0.77 <sup>b</sup>

Media de 5 repeticiones ± error estándar. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

Algunos reportes en la literatura permiten comparar nuestros resultados con los de otros métodos de secado. Por ejemplo, Krokida et al. (2001) secaron cilindros de papa por diferentes métodos (convección con aire caliente a 70 °C, secado al vacío, microondas y liofilización) para evaluar sus efectos sobre el color del producto seco, sin reportarse la aplicación de algún pretratamiento. El valor de  $L^*$  fue muy cercano a 55 para todos los métodos, no encontrándose diferencias significativas. Este valor es ligeramente mayor al encontrado en el presente trabajo para el control y el pretratamiento con hidrolizado. En otro trabajo (Iciek and Krysiak, 2009) se secaron cubos de papa con aire caliente (60 y 90 °C), previo escaldado de los cubos en agua a 90 °C. Se reportaron valores de  $L^*$  superiores a 95 en el producto seco, independientemente de la temperatura de secado, lo cual seguramente se debe a la variedad de la papa utilizada. Por otro lado, los valores de Chroma también fueron independientes de la temperatura y estuvieron en el rango 21-23, es decir muy similares a los

obtenidos en el presente trabajo, con excepción del correspondiente al escaldado (Tabla 1). Lo anterior puede estar relacionado con las diferencias en la temperatura de escaldado.

En un trabajo reciente (Xi et al., 2020), se reportó el secado de rebanadas de papa (40 x 40 x 4 mm) mediante el método de radiación infrarroja a 50 °C, asistida por ultrasonido. En dicho trabajo las papas recibieron un pretratamiento en agua hirviendo por 2 min. Sin la aplicación de ultrasonido, el tiempo de secado fue de 630 min (10.5 h), mientras que el valor medido de  $L^*$  en las papas secas fue de 32.13, siendo este último muy similar al encontrado en el presente trabajo para el tratamiento escaldado. Es también destacable la mayor luminosidad ( $L^*$ ) de la papa seca pretratada con el hidrolizado, en comparación con lo reportado por Xi et al. (2020), 51.72 vs 32.13, lo cual indica que, en términos de la luminosidad, el secado por convección de papa pretratada con el hidrolizado compite

con un método no convencional como el de radiación infrarroja.

*Actividad de agua de cubos de papa deshidratados.* Aunque el contenido de humedad fue similar en los cubos secos correspondientes a los 4 pretratamientos (entre 10 y 12 g H<sub>2</sub>O/100 g de peso seco), se observaron diferencias significativas en la A<sub>w</sub> (Tabla 2) cuyos valores oscilaron entre 0.53 para el pretratamiento bisulfitos, hasta a 0.82 para el escaldado. Según el mapa de estabilidad de alimentos (Derossi et al., 2011), en el pretratamiento bisulfitos hay una menor probabilidad de oscurecimiento enzimático, hidrolítico o no enzimático, así como de reacciones de oxidación lipídica. Aunque los cubos de papa pretratados con el hidrolizado tuvieron un valor de A<sub>w</sub> más alto que los pretratados con bisulfitos, este valor

es lo suficientemente bajo como para evitar el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias (Prabhakar and Mallika, 2014). Por el contrario, en el pretratamiento de escaldado, con un valor de A<sub>w</sub> = 0.82, es probable que se produzcan reacciones de oscurecimiento no enzimático.

**Tabla 2.** Actividad de agua (A<sub>w</sub>) de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos y secados por convección a 65 °C.

Pretratamiento	A <sub>w</sub>	T °C
<b>Control</b>	0.57 <sup>b</sup>	25.03
<b>Hidrolizado</b>	0.65 <sup>c</sup>	24.70
<b>Escaldado</b>	0.82 <sup>d</sup>	23.93
<b>Bisulfitos</b>	0.53 <sup>a</sup>	25.37

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

*Evaluación de color y textura en cubos de papa rehidratados y cocidos.* En los cubos rehidratados a 25 °C, el parámetro de color L\* tuvo su valor más bajo en el escaldado, y este valor resultó ser el único significativamente diferente entre todos los pretratamientos (Tabla 3). En general, la rehidratación causó un aumento de la luminosidad en relación con los cubos secos (compárese con la Tabla 1); este efecto es más significativo en el escaldado ya que el aumento fue casi del 100%. Una mayor luminosidad en todas las

muestras rehidratadas se debe, en parte, al efecto que tiene el agua al reincorporarse a los tejidos. En el pretratamiento con hidrolizado, los componentes que opacaban la luminosidad se lixiviaron de la superficie de los cubos, por lo que el efecto luminoso mejoró una vez que estos se rehidrataron. En el pretratamiento bisulfitos, siendo el mejor en términos de preservación del color, no es raro que el aumento de la luminosidad no haya sido tan pronunciado después de la rehidratación.

**Tabla 3.** Valores de luminosidad y firmeza de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos, secados por convección a 65 °C y posteriormente rehidratados y cocidos.

Pretratamiento	L*		Firmeza (Resistencia a la compresión N/mm)	
	Rehidratado 24 °C	Cocido 90 °C	Rehidratado 24 °C	Cocido 90 °C
<b>Control</b>	66.83 ± 2.37 <sup>a</sup>	35.07 ± 3.84 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.71 ± 0.29 <sup>a</sup>
<b>Hidrolizado</b>	68.93 ± 2.05 <sup>a</sup>	66.32 ± 3.33 <sup>a</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.29 <sup>a</sup>
<b>Escaldado</b>	58.17 ± 2.37 <sup>b</sup>	53.27 ± 3.33 <sup>c</sup>	1.94 ± 0.29 <sup>c</sup>	2.63 ± 0.30 <sup>b</sup>
<b>Bisulfitos</b>	65.65 ± 2.05 <sup>a</sup>	63.07 ± 3.84 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.64 ± 0.29 <sup>a</sup>

Media de cinco repeticiones ± error estándar. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

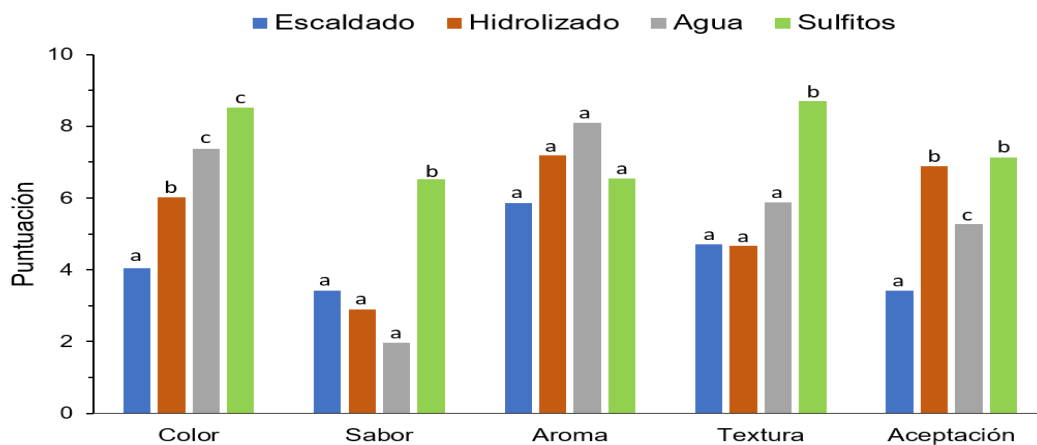


Vale la pena señalar la disminución abrupta en el valor  $L^*$  en el pretratamiento control después de cocinar la papa (Tabla 3). Esta disminución fue moderada en el resto de los pretratamientos, lo que indica un efecto evidente de la temperatura sobre la luminosidad de los cubos control y los efectos protectores de los pretratamientos hidrolizado y bisulfitos. El alcance de este trabajo no es investigar los mecanismos subyacentes a los cambios de color. El punto crítico aquí es que el mayor valor de luminosidad se registró en papas cocidas pretratadas con hidrolizado, aunque, estadísticamente, fue el mismo que el encontrado en el pretratamiento con bisulfitos.

En cuanto a la firmeza (Tabla 3), la mayor resistencia a la compresión se encontró en los cubos escaldados, secos y rehidratados a 25 °C, siendo significativamente diferente del resto de los pretratamientos. Este comportamiento puede explicarse por el colapso del tejido que ocurre durante el escaldado, formándose áreas más rígidas que en los tejidos que no fueron sometidos a este pretratamiento (Cunningham et al., 2008, Derossi et al., 2011). El comportamiento de la firmeza entre pretratamientos se mantuvo cuando los cubos se cocinaron a 90 °C. Sin embargo, la resistencia a la compresión fue

generalmente mayor en la papa cocida que en la papa rehidratada a 24 °C, lo que carece de lógica. Con la presente información, no podría darse una explicación coherente a este respecto en términos estructurales o moleculares. Un análisis de las condiciones bajo las cuales se midió la textura sugiere hacer ajustes al método. No obstante, las mediciones en su forma actual son confiables y muestran el efecto de los pretratamientos. Se observa que el pretratamiento hidrolizado no afectó significativamente la firmeza en comparación con los pretratamientos control o bisulfitos.

*Evaluación sensorial de cubos de papa rehidratados y cocidos.* Los resultados del ANOVA indican que hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los pretratamientos para todas las variables, excepto para el aroma (Tabla 4). En la Figura 2 se muestra gráficamente la puntuación dada por los jueces a los productos obtenidos de cada pretratamiento. La percepción del color fue más favorable para las papas pretratadas con bisulfitos y agua (control), no habiendo diferencias significativas entre ambos pretratamientos. El segundo lugar en la percepción del color lo obtuvo el hidrolizado, el cual fue significativamente diferente del escaldado y del par agua-bisulfitos.



**Figura 2.** Percepción de color, sabor, aroma, textura y aceptación general, de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos, secados por convección a 65 °C y posteriormente rehidratados a 25 °C y cocidos a 90 °C. Letras diferentes en columnas de un mismo pretratamiento indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 4.** ANOVA de la evaluación sensorial de cubos de papa sometidos a 4 diferentes pretratamientos, secados por convección a 65 °C y posteriormente rehidratados y cocidos.

	<b>Fuente</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Color</b>	Intergrupos	111.42	3	37.14	4.42	0.0095
	Intragrupos	302.25	36	8.40		
	Total	413.67	39	10.61		
<b>Sabor a papa cocida</b>	Intergrupos	117.14	3	39.05	3.31	0.0309
	Intragrupos	425.06	36	11.81		
	Total	542.19	39	13.90		
<b>Aroma</b>	Intergrupos	27.15	3	9.05	0.62	0.6057
	Intragrupos	524.22	36	14.56		
	Total	551.37	39	14.14		
<b>Textura al masticar</b>	Intergrupos	107.65	3	35.88	3.83	0.0176
	Intragrupos	337.01	36	9.36		
	Total	444.65	39	11.40		
<b>Aceptación global</b>	Intergrupos	88.46	3	29.49	3.56	0.0236
	Intragrupos	298.18	36	8.28		
	Total	386.64	39	9.91		

En la variable sabor, de acuerdo con la comparación de medias, los jueces evaluaron similarmente a las papas provenientes de los pretratamientos escaldado, hidrolizado y agua, mientras que mostraron una mayor preferencia por las del tratamiento con bisulfitos, en comparación con los tres anteriores. Con respecto a la percepción del aroma, no se encontraron diferencias significativas entre los pretratamientos. Es un hecho curioso que el pretratamiento con bisulfitos no haya obtenido el mejor registro en términos de aroma, como lo fue en sabor, ya que estos atributos están estrechamente relacionados. Por otro lado, las muestras de papa pretratadas con bisulfitos fueron las mejor valoradas en cuanto a la percepción de textura al masticar, con una puntuación media que fue mayor y estadísticamente diferente a

los pretratamientos escaldado, hidrolizado y agua. Estos últimos tuvieron registros muy similares, sin diferencias significativas entre los mismos. Una percepción más favorable de la textura probablemente está relacionada con el atributo del sabor, el cual también tuvo el registro más alto en el pretratamiento con bisulfitos.

Se observó una mayor aceptación global por las muestras de papas rehidratadas y cocidas correspondientes al pretratamiento con bisulfitos, lo cual concuerda con Faisal (2013), quienes secaron cubos de papa de 1 cm con aire caliente a 70 °C. Sin embargo, en el presente trabajo la preferencia de los cubos pretratados con bisulfitos fue estadísticamente igual a los obtenidos del pretratamiento hidrolizado. Los

pretratamientos control y escaldado fueron significativamente diferentes respecto a la aceptación global, pero con una puntuación menor en comparación con los pretratamientos hidrolizado y sulfitos.

Además de obtener un registro en aceptación global similar al de los bisulfitos, es notable que, con excepción del sabor, los atributos sensoriales de las muestras de papa tratadas con hidrolizado fueron calificadas en la escala de “agradable”, es decir, obtuvieron calificaciones mayores a 5, dicho de otra manera, el punto de anclaje medio en la escala hedónica que calificaría como “indiferente”. Esto indica que la utilización de hidrolizados de proteína de ST podría ser una alternativa de pretratamiento viable en el proceso de secado de la papa.

Dado que los hidrolizados de proteínas son de origen natural, su aceptación como aditivos alimentarios podría ser mayor que los bisulfitos (Chakrabarti et al., 2018). Sin embargo, es obligatorio mencionar que las proteínas de trigo están asociadas con reacciones alérgicas (Bleakley, 2019), lo que representaría una alerta para las personas sensibles a estas proteínas. En este sentido, los extractos de salvado tienen la ventaja de que la proteína más alergénica en el trigo se deriva de las gliadinas, es decir, del gluten, y que solo se pueden extraer con alcohol al 70%, por lo que difícilmente estarían presentes en los extractos. Por otro lado, los cubos de papa no se consumen directamente, sino que se rehidratan y cocinan. Este procesamiento adicional podría, por un lado, lixiviar los residuos de hidrolizado en la superficie y, por otro lado, reducir significativamente la alergenicidad de las posibles proteínas o péptidos presentes, debido al efecto del calor, como ocurre típicamente (Bleakley, 2019). Incluso la propia hidrólisis enzimática podría eliminar el riesgo de la alergenicidad.

## 5. Conclusiones

El pretratamiento de cubos de papa con un hidrolizado de proteína de salvado de trigo dio como resultado un producto seco con un color similar al obtenido en los pretratamientos convencionales de escaldado y aplicación de bisulfitos. La luminosidad (valor  $L^*$ ) de los cubos pretratados con el hidrolizado fue solo superada por el pretratamiento con bisulfitos. Por otro lado, el valor de  $A_w$  de los cubos de papa pretratados con el hidrolizado proporciona un medio desfavorable para el crecimiento de microorganismos y reacciones de oscurecimiento hidrolíticas o no enzimáticas. Lo anterior, junto con una buena aceptación global, permite concluir que el uso de hidrolizados de salvado de trigo podría constituir una alternativa viable a los pretratamientos convencionales en el secado de vegetales.

## 6. Reconocimientos

Gracias a T.C. Germán Cumplido Barbeitia, por el soporte técnico, así como a los laboratorios de Productos Cárnicos, de Cereales y de Procesamiento de Alimentos del CIAD, por facilitar el acceso a los equipos de secado, evaluación de textura y medidor de  $A_w$ , respectivamente.

## 7. Referencias

- Balandrán-Quintana, R. R., J. N. Mercado-Ruiz, and A. M. Mendoza-Wilson. 2015. Wheat bran proteins: A review of their uses and potential. *Food Reviews International* 31(3):279-293.
- Bleakley, S. 2019. Cereal proteins: Health applications and allergenicities. Págs. 77-100, en: *Novel proteins for food, pharmaceuticals and agriculture*. 1st ed. M. Hayes, ed. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ.

- Campas-Ríos, M. D. J., J. N. Mercado-Ruiz, M. A. Valdéz-Covarrubias, A. R. Islas-Rubio, A. M. Mendoza-Wilson, and R. R. Balandrán-Quintana. 2012. Hydrolysates from wheat bran albumin as color-adding agents and inhibitors of apple polyphenol oxidase. *Journal of Food Biochemistry* 36(4):470-478.
- Castro-Arredondo, S.I. 2011. Efecto de los hidrolizados de albúminas y globulinas de salvado de trigo sobre la actividad enzimática de tirosinasa de champiñón (*Agaricus bisporus*) Vol. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de los Mochis, Los Mochis, Sin., México.
- Cunningham, S., W. McMinn, T. Magee, and P. Richardson. 2008. Experimental study of rehydration kinetics of potato cylinders. *Food and Bioproducts Processing* 86:15-24.
- Chakrabarti, S., S. Guha, and K. Majumder. 2018. Food-derived bioactive peptides in human health: Challenges and opportunities. *Nutrients* 10(11):1738.
- Chua, K. J. and S. K. Chou. 2014. Chapter 24 - Recent advances in hybrid drying technologies. Págs. 447-459, en: *Emerging technologies for food processing*. 2nd ed. D.-W. Sun, ed. Academic Press, San Diego.
- Dehnad, D., S. M. Jafari, and M. Afrasiabi. 2016. Influence of drying on functional properties of food biopolymers: From traditional to novel dehydration techniques. *Trends in Food Science & Technology* 57:116-131.
- Derossi, A., C. Severini, and D. Cassi. 2011. Mass transfer mechanisms during dehydration of vegetable food: Traditional and innovative approaches. En: *Advanced topics in mass transfer*, M. El-Amin, ed. IntechOpen.
- Faisal, S. 2013. Performance evaluation and process optimization of potato drying using hot air oven. *Journal of Food Processing & Technology* 4(10):1000273.
- Higuchi, M. 2014. Chapter 15 - Antioxidant properties of wheat bran against oxidative stress. Págs. 181-199, En: *Wheat and rice in disease prevention and health*. R. R. Watson, V. R. Preedy, and S. Zibadi, ed. Academic Press, San Diego.
- Huang, Y.-C., C.-Y. Chen, W.-L. Chen, Y.-P. Ciou, T.-Y. Yang, and C.-H. Yang. 2013. Production and antioxidant properties of the ferulic acid-rich destarched wheat bran hydrolysate by feruloyl esterases from thermophilic actinomycetes. *BioResources* 8(4):4981-4991.
- Iciek, J. and W. Krysiak. 2009. Effect of Air Parameters on the Quality of Dried Potato Cubes. *Drying Technology* 27:1316-1324.
- Idris, W. H., E. E. Babiker, and A. H. El Tinay. 2003. Fractionation, solubility and functional properties of wheat bran proteins as influenced by pH and/or salt concentration. *Die Nahrung* 47(6):425-429.
- Krokida, M., Z. Maroulis, and G. Saravacos. 2001. The effect of the method of drying on the color of dehydrated products. *International Journal of Food Science & Technology* 36:53-59.
- Laddomada, B., S. Caretto, and G. Mita. 2015. Wheat bran phenolic acids: Bioavailability and stability in whole wheat-based foods. *Molecules (Basel, Switzerland)* 20(9):15666-15685.
- Mandalari, G., C. B. Faulds, A. I. Sancho, A. Saija, G. Bisignano, R. LoCurto, and K. W. Waldron. 2005. Fractionation and characterisation of arabinoxylans from

- brewers' spent grain and wheat bran. *Journal of Cereal Science* 42(2):205-212.
- McCarthy, A. L., Y. C. O'Callaghan, and N. M. O'Brien. 2013. Protein hydrolysates from agricultural crops-bioactivity and potential for functional food development. *Agriculture* 3 (1):112-130.
- Ortíz-Estrada, A. M., J. N. Mercado-Ruiz, J. M. García-Robles, A. R. Islas-Rubio, A. M. Mendoza-Wilson, and R. R. Balandrán-Quintana. 2012. Wheat bran globulins: Competitive inhibitors of mushroom tyrosinase. *Food Science and Biotechnology* 21(3):633-635.
- Osaë, R., G. Essilfie, R. N. Alolga, S. Akaba, X. Song, P. Owusu-Ansah, and C. Zhou. 2020. Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(6):2585-2599.
- Pabis, S. and M. Jaros. 2002. PH—postharvest technology: The first period of convection drying of vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage. *Biosystems Engineering* 81(2):201-211.
- Prabhakar, K. and E. N. Mallika. 2014. Dried foods. Págs. 574-576, En: *Encyclopedia of Food Microbiology*. 2nd ed. C.A. Batt and M.L. Tortorello, eds. Academic Press, Oxford.
- Priyadarshini, A., G. Rajauria, C. P. O'Donnell, and B. K. Tiwari. 2019. Emerging food processing technologies and factors impacting their industrial adoption. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 59(19):3082-3101.
- Rangan, C. and D. G. Barceloux. 2008. Food additives and sensitivities. Págs. 22-33 in *Medical toxicology of natural substances: Foods, fungi, medicinal herbs, toxic plants, and venomous animals*. D. G. Barceloux, ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Rodríguez, Ó., V. Eim, C. Rosselló, A. Femenia, J. A. Cárcel, and S. Simal. 2019. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: effects on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 99(2):966.
- Rose, D. J. and O. A. Pike. 2006. A simple method to measure lipase activity in wheat and wheat bran as an estimation of storage quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 83(5):415-419.
- Severini, C., A. Baiano, T. De Pilli, B. F. Carbone, and A. Derossi. 2005. Combined treatments of blanching and dehydration: Study on potato cubes. *Journal of Food Engineering* 68(3):289-296.
- Verma, B., P. Hucl, and R. N. Chibbar. 2009. Phenolic acid composition and antioxidant capacity of acid and alkali hydrolysed wheat bran fractions. *Food Chemistry* 116(4):947-954.
- Wang, J., X. Yuan, B. Sun, Y. Tian, and Y. Cao. 2009. Scavenging activity of enzymatic hydrolysates from wheat bran. *Food Technology and Biotechnology* 47(1):39-46.
- Xi, H., Y. Liu, L. Guo, and R. Hu. 2020. Effect of ultrasonic power on drying process and quality properties of far-infrared radiation drying on potato slices. *Food Science and Biotechnology* 29(1):93-101.