






Tecnofuncionalidad de harinas integrales de maíces andinos (*Zea Mays*) nativas y extrudidas

Technofunctionality of native and extruded Andean maize (*Zea Mays*) whole-grain flours

Tecnofuncionalidade das farinhas integrais de milho andino extrusado e nativo (*Zea Mays*)

-  **RITA MARISOL MIRANDA** (1)
-  **NATALIA ESTER DOMÍNGUEZ** (1)
-  **MARÍA ALEJANDRA GIMÉNEZ** (1)
-  **MANUEL OSCAR LOBO** (1)
-  **NORMA CRISTINA SAMMÁN** (1)

(1) Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITeD)-CONICET. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, Argentina.

RECIBIDO: 19/10/2021 → APROBADO: 10/8/2022 ✉ rmmiranda@conicet.gov.ar

RESUMEN

Los granos andinos tienen gran potencial de transformación en nuevos productos, pero su aprovechamiento integral es un desafío tecnológico. El objetivo de este trabajo fue modificar las propiedades tecnofuncionales de las harinas integrales de maíces andinos Capia, Bolita y Chulpi para obtener harinas que potencialmente mejoren la calidad de los panes sin gluten. Las harinas se extrudieron en un extrusor monotornillo, usando un diseño ortogonal incompleto con tres niveles de temperatura, humedad y velocidad de tornillo. Se determinó la composición proximal de las harinas integrales nativas. En las harinas nativas y extrudidas se midió el índice de absorción de agua (IAA), el índice de solubilidad en agua (ISA), la capacidad de retención de aceite (CRO), la capacidad de retención de agua (CRA) y el poder de hinchamiento (PH). Los maíces andinos presentaron diferencias significativas en su composición. La mayor parte de la variabilidad de datos se debió a la humedad y la temperatura de extrusión. En general, las muestras de maíz Capia y Bolita tuvieron un comportamiento similar, presentando mayores IAA, CRA y PH a altas humedades y temperaturas; el ISA fue mayor a bajas humedades. La CRO no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Las harinas integrales extrudidas

de maíz Capia y Bolita con altos IAA, CRA y PH, a 120 °C, 25% H y 80 rpm, podrían mejorar la consistencia de las masas y la suavidad de panes sin gluten.

Palabras clave: granos andinos, extrusión, propiedades tecnofuncionales.

ABSTRACT

Andean grains have great potential for transformation into new products, but their comprehensive utilization is a technological challenge. The objective of this work was to modify the techno-functional properties of whole-grain flours of the Capia, Bolita and Chulpi Andean maize races by extrusion to obtain flours that potentially improve the quality of gluten-free bread. The flours were extruded in a single screw extruder, using an incomplete orthogonal design with three levels of temperature, moisture and screw speed. The proximal composition of the native whole-grain flours was determined. In native and extruded flours were determined the water absorption index (IAA), water solubility index (ISA), oil absorption capacity (CRO), water binding capacity (CRA) and swelling volume (PH). The extruded Andean maize whole-grain flours presented significant differences in their composition. Most of the variability of data was due to moisture and extrusion temperature. In general, the samples of Capia and Bolita maize had a similar behavior, presenting higher IAA, CRA and pH at high moistures and temperatures; the ISA was higher at low moistures. The CRO did not show significant differences between treatments. Extruded whole-grain flour of Capia and Bolita maize with high IAA, CRA and PH, such as those obtained in the extrusion condition of 120 °C, 25% H y 80 rpm, could improve the consistency of doughs and the softness of gluten-free breads.

Keywords: Andean grains, extrusion, techno-functional properties.

RESUMO

Os granos andinos têm grande potencial de transformação em novos productos, mas em sua aprovação integral e um desafio tecnológico. O objetivo deste trabalho foi modificar as propriedades tecnofuncionais de farinhas integrais de milho andino Capia, Bolita e Chulpi por extrusão para obter farinhas que potencialmente melhoram a qualidade de pães sem glúten. As farinhas foram extrusadas em um extrusor mono-rosca, usando um desenho ortogonal incompleto com três níveis de temperatura, umidade e velocidade de rosca. Foi determinada a composição proximal das farinhas integrais nativas. Nas farinhas nativas e extrusadas, determinaram-se o índice de absorção da água (IAA), o índice de solubilidade em água (ISA), a capacidade de retenção de óleo (CRO), a capacidade de retenção de água (CRA) e poder de inchamento (PH). Os milhos andinos apresentaram diferenças significativas em suas composições. A maior parte da variabilidade dos dados foi devido à umidade e temperatura de extrusão. De maneira geral, as amostras de milho Capia e Bolita tiveram um comportamento semelhante, apresentando maiores IAA, CRA e PH em altas umidades e temperaturas; o ISA foi maior em baixas umidades. O CRO não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos. As farinhas integrais extrusadas de milho Capia e Bolita com alto IAA, CRA e PH, como as obtidas na condição de extrusão

de 120 °C, 25% H y 80 rpm, poderiam melhorar a consistência das massas e a maciez dos pães sem glúten.

Palavras-chave: grãos andinos, extrusão, propriedades tecno-funcionais.

INTRODUCCIÓN

Los granos andinos como el maíz tienen gran potencial de transformación en nuevos productos sin gluten porque no contienen las proteínas que lo forman (Giménez, et al., 2015). En Jujuy se cultivan diferentes razas de maíces andinos como Capia, Amarillo de ocho rayas, Chulpi, Pisingallo o Pisincho y Morocho, de mayor demanda comercial, y otras menos conocidas como Culli, Garrapatillo, Bolita, Altiplano y Lanudo (Cámara Hernández y Arancibia Cabezas, 2007). El endospermo del grano de maíz representa entre el 82-85% de su peso seco y está compuesto principalmente por almidón (FAO, 1993). El grano de maíz puede contener dos tipos de endospermo: vítreo (duro-traslúcido) y harinoso (blando-opaco), y la proporción de cada uno de ellos depende de la raza y variedad del maíz (Zhang y Xu, 2019). La incidencia de la variabilidad genética -derivada de la domesticación ancestral- sobre las propiedades fisicoquímicas es determinante en el uso culinario que se les da a los granos andinos y/o a su procesamiento posterior (Salvador-Reyes y Clerici, 2020).

El consumo de harinas integrales derivadas de estos granos aumentaría la ingesta de micro y macronutrientes, además de fibra dietaria y compuestos bioactivos con beneficios nutricionales y funcionales (Caputo, et al., 2015; Paesani, et al., 2020). Sin embargo, la utilización de harinas integrales sin gluten suele dificultar la obtención de productos aireados y suaves como los de panadería, y la granulometría de las harinas tiene un efecto importante sobre estos defectos (Salvador-Reyes y Clerici, 2020; Luo, et al., 2021).

La extrusión-cocción es un tratamiento capaz de modificar las propiedades fisicoquímicas de las harinas integrales sin gluten o las harinas adicionadas con fibra, dependiendo de la intensidad del proceso (Tsatsaragkou, et al., 2016). El contenido de humedad de la alimentación, el tiempo de residencia, la velocidad y configuración del tornillo, su geometría, la temperatura del barril y la composición química del material, entre otros, son factores a tener en cuenta en el diseño y optimización del proceso de extrusión (Moscicki, 2011). En la extrusión de harinas de cereales, el almidón es el componente que juega el papel más importante debido a que los cambios que sufre, como la gelatinización, fusión y fragmentación, afectan la reología del material y la textura del producto final (Roman, et al., 2018). Otros cambios importantes registrados durante la extrusión incluyen la desnaturalización de proteínas, la inactivación de enzimas, la formación de almidón resistente y la formación de complejos amilosa-lípido y proteína-lípido, entre otros (De Pilli y Alessandrino, 2020). La extrusión también es capaz de inducir cambios en la relación de fibra soluble/insoluble e incluso aumentar el contenido de fibra dietética total, razón por la cual sus efectos sobre la funcionalidad de las harinas son un tema de estudio actual (Zhong, et al., 2019). Trabajos como los de Clerici y otros (2009) y Gómez y Martínez (2016) indicaron mejoras de las propiedades panaderas de harinas sin gluten por aplicación de la extrusión, entre ellas las características texturales de sus masas y productos horneados. Comettant-Rabanal y otros (2020) han aplicado esta

tecnología en harinas integrales de diversas fuentes con buenos resultados en la calidad de los panes formulados.

Las propiedades tecnofuncionales, como el índice de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua de harinas integrales sin gluten, son frecuentemente utilizadas para caracterizar el material extrudido (Ding, et al., 2005). La intensidad del tratamiento de extrusión produce cambios considerables sobre esas propiedades, según las condiciones utilizadas (Sarifudin y Assiry, 2014). Por ejemplo, el índice de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua suelen ser indicadores de la degradación de macromoléculas de las harinas, como el almidón y las proteínas, luego de la extrusión (Kharat, et al., 2019). Además, las propiedades de hidratación de las harinas pueden estar relacionadas con la variedad del cultivo. Cornejo y Rosell (2015) encontraron diferencias significativas en la capacidad de retención de agua, el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento de harinas de variedades de arroz de grano corto. La capacidad de retención de aceite y el poder de hinchamiento son medidas asociadas, por su afinidad química, a la concentración de fibra dietaria (Wang, et al., 2016), lo cual resultaría de utilidad en la caracterización de harinas integrales sometidas a extrusión. Además, la capacidad de retención de aceite se relaciona con el grado de cocción de las harinas extrudidas, ya que este tratamiento promueve la exposición de zonas hidrófobas de las proteínas que pueden interactuar con los lípidos (Espinosa-Ramírez, et al., 2021). Estas propiedades en conjunto podrían constituir una herramienta rápida y económica para la selección de las condiciones de extrusión de harinas integrales con potencial para la elaboración de productos de panadería.

El objetivo de este trabajo fue modificar las propiedades tecnofuncionales de harinas integrales de tres razas de maíces andinos mediante extrusión para obtener harinas potencialmente mejoradoras de la calidad de panes sin gluten.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron tres razas de maíces andinos, Capia, Chulpi y Bolita, provenientes de Ocumazo, en el departamento de Humahuaca, en la provincia de Jujuy, Argentina. Estos maíces se molieron en molino de martillos hasta obtener harinas integrales con un tamaño de partículas inferior a 710 μm .

Las harinas integrales se extrudieron en un extrusor Brabender (KE 19/25D) monotornillo con relación de compresión 3:1, boquilla de 3 mm, a temperaturas de 100, 120 y 140 °C, humedades de 15, 20 y 25%, velocidades de tornillo de 80, 100 y 120 rpm, usando un diseño factorial incompleto (Zhong, et al., 2019).

Se determinó la composición proximal de las harinas integrales nativas por métodos AOAC: humedad (AOAC Internacional, 2005a); proteínas (AOAC Internacional, 2005b); lípidos (AOAC Internacional, 2005c); cenizas (AOAC Internacional, 2005d). Los carbohidratos totales se determinaron por diferencia. En las harinas nativas y extrudidas se determinaron algunas propiedades tecnofuncionales que se detallan a continuación.

Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Se determinaron por el método de Anderson y otros (1969). Se pesaron 2,5 g de cada muestra en tubos de centrífuga. Luego se adicionaron 30 mL de agua destilada y se colocaron en baño termostático a 30 °C por 15 min con agitación, se enfriaron a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000 rpm por 10 min. Se registraron los pesos de los residuos o geles obtenidos en los tubos de centrífuga. Los sobrenadantes obtenidos se colocaron en cajas de Petri y se evaporaron a 110 °C para determinar los sólidos solubles. Los IAA e ISA se calcularon según las ecuaciones:

$$\text{IAA (g/g)} = \frac{W_r}{W_i} \quad (1)$$

$$\text{ISA (\%)} = \frac{W_r}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde: w_i es el peso de la harina; w_r , el peso del gel; y w_s , el peso del sobrenadante seco.

Capacidad de retención de aceite (CRO), capacidad de retención de agua (CRA) y poder de hinchamiento (PH)

Se determinaron por los métodos de Raghavendra y otros (2004 y 2006) con ligeras modificaciones (Wang, et al., 2016).

La capacidad de retención de agua se determinó pesando 1 g de cada muestra seca. Las muestras se hidrataron con 30 mL de agua destilada en tubos de centrífuga y se dejaron en reposo a 20 °C. Después de 18 h, se centrifugaron a 3000 g durante 20 min. Luego se decantó el sobrenadante y se pesó el residuo. La CRA de las muestras se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{CRA (g/g)} = \frac{W_a}{W_i} \quad (3)$$

Donde: w_a es el peso del agua retenida; w_i , el peso de la harina.

Para la determinación de la capacidad de retención de aceite se pesaron 500 mg de muestra. La muestra se mezcló con 10 mL de aceite de girasol refinado en un tubo de centrífuga. Se dejó equilibrar durante la noche a 20 °C y luego se centrifugó a 10000 g durante 30 minutos. Luego se decantó el sobrenadante y se pesó el residuo.

$$\text{CRO (g/g)} = \frac{W_o}{W_i} \quad (4)$$

Donde: w_o es el peso del aceite retenido; w_i es el peso de la harina.

Para la determinación del poder de hinchamiento se pesaron 200 mg de cada muestra en una probeta graduada y se hidrató con 10 mL de agua destilada a 20 °C durante 18 h, finalmente se registró el volumen ocupado por la muestra. El PH se determinó con la siguiente ecuación:

$$PH \text{ (mL/g)} = \frac{V_s}{W_i} \quad (5)$$

Donde: v_s es el volumen ocupado por la harina después de la hidratación; w_i , el peso de la harina.

Los datos se analizaron utilizando el software InfoStat (Di Rienzo, et al., 2008). Los resultados se presentan como la media aritmética de tres repeticiones \pm la desviación estándar. La diferencia entre medias se evaluó por análisis de varianza (ANOVA) de un factor, seguida por la prueba ad-hoc de Tukey con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Los datos sobre las propiedades tecnofuncionales de las harinas extruidas se resumieron en un análisis de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición proximal de las harinas integrales de maíces andinos se muestra en la Tabla 1, donde se observa que presentaron diferencias significativas en su composición. El maíz Chulpi presentó el menor contenido de carbohidratos y el mayor contenido de proteínas y cenizas. En tanto, el maíz Bolita presentó el menor contenido de lípidos. Los maíces Capia y Bolita presentaron composiciones similares, a excepción del contenido de lípidos, que fue significativamente distinto. Salvador-Reyes y Clerici (2020) señalaron que el contenido de proteínas suele ser superior en las razas de maíces andinos comparadas con el de maíz amarillo comercial. El contenido de grasa de las razas de maíz andino peruano mencionado por estos autores es casi la mitad comparado con los valores obtenidos en este trabajo. Esto podría afectar la tecnofuncionalidad de las harinas tratadas por extrusión, ya que estos lípidos pueden interactuar con la amilosa para formar complejos (Ding, et al., 2005).

TABLA 1. Composición proximal (g/100 g bs)

Componente/Maíz	Capia	Chulpi	Bolita
Proteínas	7,06 \pm 0,13 ^a	9,33 \pm 0,07 ^b	7,09 \pm 0,12 ^a
Lípidos	7,08 \pm 0,56 ^b	7,00 \pm 0,29 ^b	5,41 \pm 0,10 ^a
Cenizas	1,52 \pm 0,04 ^a	1,94 \pm 0,08 ^b	1,62 \pm 0,02 ^a
Carbohidratos	83,64 \pm 0,45 ^b	79,75 \pm 0,35 ^a	84,24 \pm 0,01 ^b

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En general, se encontraron diferencias entre las propiedades tecnofuncionales según las condiciones del tratamiento aplicado sobre las harinas, excepto en la CRO (Figuras 1A, 1B y 1C). Las propiedades tecnofuncionales de las harinas extrudidas variaron respecto a las harinas nativas del siguiente modo: el IAA aumentó entre 54,74 (Ch1) y 118,22% (C3); el ISA varió entre -33,20% (C9) y 384,56% (B3); el PH aumentó entre 54,30 (Ch3) y 265,39% (C4); la CRA aumentó entre 195,24 (Ch3) y 415,92% (B5). Todas las harinas integrales tratadas por extrusión tuvieron mayores IAA, PH y CRA respecto a las harinas nativas. Espinosa-Ramírez y otros (2021) y Silvestre-De-León y otros (2020) atribuyen el aumento de las propiedades de hidratación en muestras extrudidas a cambios estructurales en los biopolímeros como la gelatinización del almidón y/o desnaturalización de las proteínas por exposición de sus grupos hidrofílicos. Otros cambios estructurales, como la fragmentación de la fibra insoluble, también pueden contribuir al aumento de la CRA (Chen, et al., 2018). Los valores de ISA de las harinas tratadas variaron respecto a sus harinas nativas: en general aumentaron a bajas humedades de extrusión independientemente de la temperatura. Stephen y Phillips (2006) señalaron la ocurrencia de fenómenos de fragmentación molecular del almidón y su posterior repolimerización ocasionados por efecto de cizallamiento a bajas humedades de extrusión. En el mismo sentido, Sarifudin y Assiry (2014) informaron que el grado de fragmentación del almidón no solo estaría asociado a bajas humedades sino también a temperaturas elevadas por degradación térmica. Las muestras extrudidas de maíz Chulpi en general presentaron los menores incrementos en el IAA, PH y CRA, lo cual podría deberse a que la harina nativa de este maíz tuvo el menor contenido de carbohidratos y por ende, el menor contenido de almidón disponible para gelatinizar. En tanto, los incrementos del ISA de los extrudidos de maíz Chulpi prácticamente no variaron respecto a la harina nativa, a diferencia de las muestras de maíces Capia y Bolita. Algunos autores han señalado que las características morfológicas de los gránulos de almidón propias de la raza o variedad vegetal, como el tamaño y el contenido de amilosa, tienen influencia sobre la gelatinización del almidón y su comportamiento durante la extrusión (Chaudhary, et al., 2008; Narváez-González, et al., 2007).

Se realizó un análisis de componentes principales con las propiedades tecnofuncionales que presentaron diferencias significativas para observar su correlación con las variables de extrusión y la diferenciación por raza de maíz (Figura 2). En el ACP se observó que los componentes 1 (CP1) y 2 (CP2) explicaron el 62,9% de la variabilidad de los datos. La temperatura tuvo mayor influencia en CP1 y la humedad en CP2.

El CP1 estuvo correlacionado positivamente con las variables CRA ($r = 0,91$), IAA ($r = 0,85$) y PH ($0,81$). Los pares CRA-PH ($r = 0,79$) y CRA-IAA ($r = 0,67$) muestran una fuerte correlación. Estos tres parámetros, asociados a los cambios estructurales del almidón, proteínas y fibra, podrían utilizarse en la selección de los parámetros de extrusión de harinas integrales de maíces andinos con potencial para mejorar la calidad de panes sin gluten. Cerón-Fernández y otros (2016) probaron diferentes condiciones de extrusión en harina de quínoa y seleccionaron el IAA como el factor más importante para inferir las condiciones de proceso adecuadas para obtener harinas precocidas de fácil hidratación, solubilización y desarrollo de textura viscoelástica.

En general, las muestras de maíz Capia y Bolita tuvieron un comportamiento similar frente a la extrusión, presentando mayores IAA, CRA y PH a altas humedades y

temperaturas. La similitud de la composición de las muestras nativas de maíz Capia y Bolita podrían explicar en parte estos resultados.

EL CP2 se correlacionó con el ISA ($r = 0,80$). Este parámetro fue mayor a bajas humedades en las muestras extrudidas. Las harinas integrales extrudidas de maíz Chulpi se diferenciaron de las demás harinas extrudidas, principalmente por su alto ISA, el cual era alto en la harina nativa. Debido a los valores bajos de IAA CRA y PH, las muestras de maíz Chulpi se agruparon en la sección izquierda del gráfico ACP.



FIGURA 1. Propiedades tecnofuncionales de maíces andinos: A-Capia (C), B-Chulpi (Ch) y C-Bolita (B). Las muestras sin numeración corresponden a las harinas nativas y las numeradas corresponden a los tratamientos usados: C1, Ch1 y B1:100 °C – 15%H – 80 rpm;

C2, Ch2 y B2:100 °C – 20%H – 100 rpm; C3, Ch3 y B3:100 °C – 25%H – 120 rpm; C4, Ch4 y B4: 120 °C – 15%H – 100 rpm; C5, Ch5 y B5:120 °C – 20%H – 120 rpm; C6, Ch6 y B6:120 °C – 25%H – 80 rpm; C7, Ch7 y B7:140 °C – 15%H – 120 rpm; C8, Ch8 y B8:140 °C – 20%H – 80 rpm; C9, Ch9 y B9:140 °C – 25%H – 100 rpm.

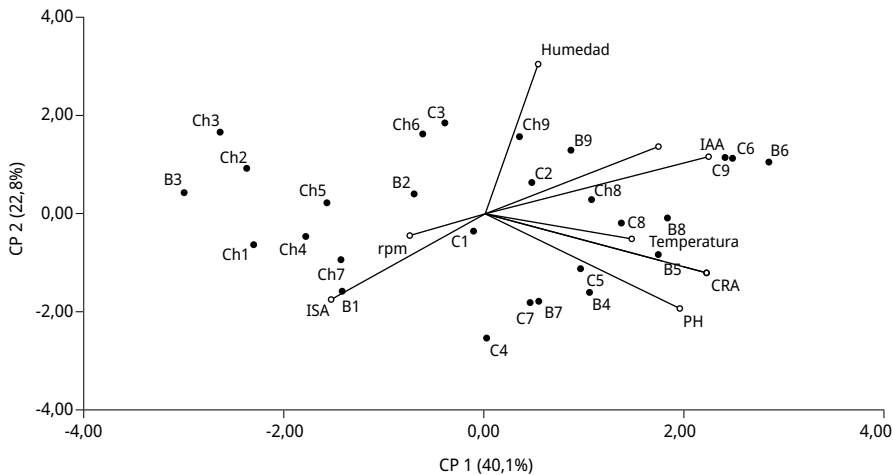


FIGURA 2. Análisis de Componentes Principales de las propiedades tecnofuncionales de harinas integrales de maíces andinos.

CONCLUSIÓN

La extrusión modificó las propiedades tecnofuncionales de las harinas integrales de los tres maíces andinos estudiadas en este trabajo, excepto la CRO. La variación de la humedad y la temperatura en un extrusor monotornillo serían más importantes en el diseño que la velocidad de tornillo para generar variaciones significativas sobre algunas propiedades tecnofuncionales. La CRA, IAA y el PH podrían utilizarse para analizar, en primera instancia, los cambios inducidos por la extrusión en harinas integrales. Las muestras extrudidas de maíz Capia y Bolita con altos valores de IAA, CRA y PH, especialmente las harinas obtenidas en las condiciones 120 °C – 25%H – 80 rpm, podrían emplearse en la elaboración de panes sin gluten. Estas harinas podrían mejorar la consistencia de las masas y la suavidad de los panes sin gluten debido a su capacidad de ligar agua.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICET y SECYT-UNJu por el apoyo financiero brindado y al Proyecto ValSe-Food-CYTED (N° 119RT0567).

REFERENCIAS

- Anderson, R.A., Conway H.F., Pfeifer V.F. y Griffin E.L., 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. En: *Cereal Science Today*, 14, pp.4-12. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- AOAC International, 2005a. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18 ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 925.10.
- AOAC International, 2005b. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18 ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.87.
- AOAC International, 2005c. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18 ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.39.
- AOAC International, 2005d. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18 ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 923.03.
- Cámara Hernández, J. y Arancibia de Cabezas, D., 2007. *Maíces andinos y su uso en la Quebrada de Humahuaca y regiones vecinas (Argentina)*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía Universidad de Bs As. ISBN 978-950-29-1011-6.
- Caputo, L., Visconti, A. y De Angelis, M., 2015. Selection and use of a *Saccharomyces cerevisiae* strain to reduce phytate content of wholemeal flour during bread-making or under simulated gastrointestinal conditions. En: *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), pp.400-407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.058>
- Cerón-Fernández, C.L., Guerra-Morcillo, I.V., Legarda-Quintero, J.A., Enríquez-Collazos, M.G. y Pismag-Portilla, Y., 2016. Efeito da extrusão sobre as características físico-químicas da farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*). En: *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), pp.92-99. DOI: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Chaudhary, A.L., Miler, M., Torley, P.J., Sopade, P.A. y Halley, P.J., 2008. Amylose content and chemical modification effects on the extrusion of thermoplastic starch from maize. En: *Carbohydrate Polymers*, 74(4), pp.907-913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.05.017>
- Chen, H., Zhao, C., Li, J., Hussain, S., Yan, S. y Wang, Q., 2018. Effects of extrusion on structural and physicochemical properties of soluble dietary fiber from nodes of lotus root. En: *LWT*, 93, pp.204-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.004>
- Clerici, M.T.P.S., Airoldi, C. y El-Dash, A.A., 2009. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. En: *LWT-Food Science and Technology*, 42(2), pp.618-623. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.08.010>
- Comettant-Rabanal, R., De Carvalho, C.W.P., Ascheri, J.L.R., Hidalgo Chávez, D.W. y Germani, R., 2020. Physical, textural and structural properties of gluten-free breads made from extruded whole grain flours [En línea]. En: Universidade Federal de São João del-Rei. *Anais do Congresso on-line Brasileiro de Tecnologia de Cereais e Panificação*. Sete Lagoas, Brasil. Sete Lagoas: Universidade Federal de São João del-Rei. [Consulta: 2 de Julio de 2021]. Disponible en: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126445>
- Cornejo, F. y Rosell, C.M., 2015. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. En: *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), pp.1203-1210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.050>
- De Pilli, T. y Alessandrino, O., 2020. Effects of different cooking technologies on biopolymers modifications of cereal-based foods: Impact on nutritional and quality

- characteristics review. En: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4), pp.556-565. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1544884>
- Di Rienzo, J.A, Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C.W., 2008. *InfoStat* [En línea]. Versión 2017.1.2. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. [Consulta: 5 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Ding, Q.B., Ainsworth, P., Tucker, G. y Marson, H., 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. En: *Journal of Food engineering*, 66(3), pp.283-289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Espinosa-Ramírez, J., Rodríguez, A., De la Rosa-Millán, J., Heredia-Olea, E., Pérez-Carrillo, E. y Serna-Saldívar, S.O., 2021. Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. En: *Food Hydrocolloids*, 111, 106400. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>
- FAO, 1993. *El maíz en la nutrición humana*. Roma: FAO. (Alimentación y nutrición, N° 25). ISBN 92-5-303013-5.
- Giménez, M.A., Gámbaro, A., Miraballes, M., Roascio, A., Amarillo, M., Sammán, N. y Lobo, M., 2015. Sensory evaluation and acceptability of gluten-free Andean maize spaghetti. En: *J Sci Food Agric.*, 95(1), pp.186-192. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6704>
- Gómez, M. y Martínez, M.M., 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. En: *J. Cereal Sci.*, 67, pp.68-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009>
- Kharat, S., Medina-Meza, I. G., Kowalski, R. J., Hosamani, A., Ramachandra, C. T., Hiregoudar, S. y Ganjyal, G. M., 2019. Extrusion processing characteristics of whole grain flours of select major millets (foxtail, finger, and pearl). En: *Food and Bioprocess Processing*, 114, pp.60-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.07.002>
- Luo, S., Yan, X., Fu, Y., Pang, M., Chen, R., Liu, Y., Chen, J. y Liu, C., 2021. The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill. En: *Food Chemistry*, 348, pp.129032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129032>
- Moscicki L., 2011. *Extrusion-cooking techniques: applications, theory and sustainability*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag & Co. ISBN: 978-3-527-32888-8.
- Narváez-González, E.D., Figueroa Cardenas, J.D.D., Taba, S., Castaño Tostado, E. y Martínez Peniche, R.A., 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. En: *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), pp. 269-277. ISSN: 0187-7380.
- Paesani, C., Bravo-Núñez, Á. y Gómez, M., 2020. Effect of extrusion of whole-grain maize flour on the characteristics of gluten-free cookies. En: *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 132(1), pp.109931. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109931>
- Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., y Tharanathan, R.N., 2004. Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. En: *Eur Food Res Technol.*, 218(6), pp.563-567. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0889-2>
- Raghavendra, S.N., Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. y Tharanathan, R.N., 2006. Grinding characteristics and hydration properties of coconut

- residue: A source of dietary fiber. En: *Journal of Food Engineering*, 72(3), pp.281-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008>
- Roman, L., Gomez, M., Hamaker, B.R. y Martinez, M.M., 2018. Shear scission through extrusion diminishes inter-molecular interactions of starch molecules during storage. En: *Journal of Food Engineering*, 238, pp.134-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.019>
- Salvador-Reyes, R. y Clerici, M.T.P.S., 2020. Peruvian andean maize: general characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. En: *Food Research International*, 130, pp.108934. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108934>
- Sarifudin, A., y Assiry, A.M., 2014. Some physicochemical properties of dextrin produced by extrusion process. En: *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), pp.100-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.02.001>
- Silvestre-De-León, R., Espinosa-Ramírez, J., Heredia-Olea, E., Pérez-Carrillo, E. y Serna-Saldívar, S.O., 2020. Biocatalytic degradation of proteins and starch of extruded whole chickpea flours. En: *Food and Bioprocess Technology*, 13(10), pp.1703-1716. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02511-z>
- Stephen, A.M. y Phillips, G.O., 2006. *Food polysaccharides and their applications*. 2a edición. Boca Raton: CRC Press.
- Tsatsaragkou, K., Protonotariou, S. y Mandala, I., 2016. Structural role of fibre addition to increase knowledge of non-gluten bread. En: *Journal of Cereal Science*, 67, pp.58-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.10.003>
- Wang, J., Suo, G., de Wit, M., Boom, R.M. y Schutyser, M.A., 2016. Dietary fibre enrichment from defatted rice bran by dry fractionation. En: *Journal of Food Engineering*, 186, pp.50-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.012>
- Zhang, H. y Xu, G., 2019. Physicochemical properties of vitreous and floury endosperm flours in maize. En: *Food Science & Nutrition*, 7(8), pp.2605-2612. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1114>
- Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M.L., Hodgson, J.M., y Johnson, S.K., 2019. Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. En: *LWT*, 99, pp.547-554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.018>