

Obtención y caracterización de ingredientes y/o aditivos funcionales a partir de la molienda de *Prosopis spp.*

Espósito, Nancy N.^{1,2}; Karen F., Irigoytia^{1,2}; Busch, Verónica M.^{1,2}; Genevois, Carolina E.^{1,2}

Autoras/es: ¹Facultad de Bromatología. Universidad Nacional de Entre Ríos. Perón 1154, E2820, Gualeguaychú, Entre Ríos. ²Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Entre Ríos, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Universidad Nacional de Entre Ríos (ICTAER CONICET-UNER). Perón 1154, E2820, Gualeguaychú, Entre Ríos. <https://ictaer.conicet.gov.ar/>

Contacto: carolina.genevois@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/lyknilg4k>

Resumen

La creciente demanda de insumos e ingredientes funcionales para el desarrollo de productos alimenticios con óptimas propiedades tecnológicas y nutricionales representa un desafío para la industria alimenticia, impulsando la I+D+i de nuevos ingredientes y/o aditivos que satisfagan estas exigencias. El presente Proyecto de Investigación planteó la obtención y caracterización de polvos a partir de la molienda en seco del fruto de *N. affinis* (Ñandubay), y el estudio del efecto de su incorporación en distintos niveles, junto con diferentes grados de hidratación, sobre la textura, volumen específico (VE) y la estructura alveolar de una formulación de pan Sin Gluten (SG), aplicando un diseño experimental de Box-Behnken. A partir de la molienda en seco del fruto, se obtuvieron dos fracciones de polvos: endocarpio-semilla (ES) y exocarpio-mesocarpio (EM). Estos polvos se caracterizaron por su alto contenido de fibra dietética y proteínas, buen perfil bioactivo, y buenas propiedades de hidratación y funcionales. La combinación de distintos niveles de ES, EM y agua influyó significativamente sobre los parámetros de textura, estructura alveolar y VE del pan SG. Un mayor contenido de agua dio como resultado una miga suave, con menor densidad alveolar y mayor VE. Niveles altos de ES aumentaron la inclusión de aire en la miga, mientras que altas proporciones de ES y EM redujeron el VE del pan. Por lo tanto, la utilización de nuevos ingredientes funcionales obtenidos del fruto de *N. affinis* podría representar una alternativa innovadora para mejorar la calidad de panes SG, promoviendo el uso sustentable de los recursos autóctonos.

Palabras clave: *Neltuma affinis*, Ñandubay, pan sin gluten, diseño experimental.

1. Marco teórico y metodológico

Actualmente, existe una creciente tendencia global hacia la sostenibilidad en el desarrollo de nuevos ingredientes y aditivos, con énfasis en el uso responsable de los recursos autóctonos, el agregado de valor a las materias primas, y el aprovechamiento de subproductos agroindustriales para la recuperación de nutrientes (*Circular Economy*, 2020).

Los trastornos asociados al gluten afectan aproximadamente al 5% de la población mundial (Taraghikhah et al., 2020). En el caso de la enfermedad celíaca, la ingesta de gluten desencadena una respuesta inflamatoria que daña el epitelio intestinal, lo que provoca malabsorción de nutrientes y, en consecuencia, deficiencias de micronutrientes (Mollakhalili Meybodi, Mohammadifar y Feizollahi, 2015). Hasta el momento, el único tratamiento seguro y eficaz es llevar una dieta SG de por vida. Sin embargo, numerosos estudios han resaltado deficiencias nutricionales en las dietas SG, especialmente en fibra dietética, hierro, zinc, magnesio, calcio y vitaminas B, D, y ácido fólico (Vici et al., 2016).

Es importante destacar que la mayoría de las harinas y almidones SG son refinados, lo cual conlleva a la pérdida de vitaminas, minerales y fibra dietética durante el procesamiento. Además, el uso de estas harinas sin gluten, implica limitaciones en la formación de redes visco-elásticas que dan estructura a las masas, por lo que los panificados SG suelen tener un volumen específico bajo, una miga seca, y una mayor tasa de envejecimiento en comparación con los panes con gluten (Mollakhalili Meybodi, Mohammadifar y Feizollahi, 2015). Por lo tanto, mejorar el perfil nutricional y las propiedades tecnológicas y sensoriales de los productos SG sigue siendo un desafío importante para la comunidad científica (Roman, Belorio y Gomez, 2019).

La familia de leguminosas *Fabaceae*, en particular el género *Prosopis* spp., ha sido recientemente reclasificada en cuatro géneros distintos: *Anonychium*, *Prosopis*, *Strombocarpa* y *Neltuma* (Hughes et al., 2022). Las especies de *Neltuma* están ampliamente distribuidas en América Latina y sus frutos han sido parte fundamental de la alimentación tradicional de los pueblos originarios. Este legado culinario perdura hasta la actualidad en arropes, bebidas fermentadas como la *aloja* y la *añapa*, así como en productos horneados como el *patay* (Campos, Felker y Puppo, 2022).

Los frutos de diversas especies de *Neltuma* spp. han sido caracterizados como fuente de proteínas, carbohidratos, lípidos, fibra dietética, micronutrientes, y compuestos antioxidantes (Sciammaro, Quintero Ruiz, Ferrero y Puppo, 2022). A partir de la molienda del fruto de *Neltuma* spp. se pueden obtener diferentes fracciones de harinas con características tecnológicas y nutricionales específicas, y de potencial aplicación en la elaboración de productos panificados SG. Por ejemplo, la incorporación de harina de *N. laevigata* en panes de trigo incrementó significativamente el contenido de fibra y retrasó el proceso de retrogradación del almidón durante el almacenamiento, mejorando la vida útil del producto (Bigne, Puppo y Ferrero, 2016; 2018). De manera similar, la adición de *N. ruscifolia* en panes de trigo mejoró el perfil nutricional y tuvo buena aceptabilidad sensorial en consumidores (Ojeda, Genevois y Busch, 2023). Además, se ha investigado la incorporación de *N. laevigata* en la formulación de panes SG, lo que resultó en mejoras en la calidad nutricional y la vida útil del producto, así como también en una buena aceptación sensorial del color, sabor y aroma de la miga por parte

de los consumidores (Korus et al., 2022). Por otro lado, en magdalenas SG, la adición de harina de *N. alba* aumentó el contenido de proteínas, fibra dietaria y compuestos antioxidantes, además de mejorar la calidad sensorial del producto final (Sciammaro, Ferrero y Puppo, 2018).

Aunque existe un amplio conocimiento sobre los frutos de diversas especies del género *Neltuma*, la especie *N. affinis* ha sido poco estudiada. Conocida popularmente como “Ñandubay” o “Algarrobillo”, esta especie forma parte del monte nativo de la fito-región del Espinal entrerriano en Argentina (Capparelli, 2022). Debido a la alta calidad de su madera y al valor que sus flores y frutos aportan a la apicultura y la ganadería, estos árboles están protegidos contra la tala indiscriminada y el uso no sostenible de la madera mediante diversas regulaciones provinciales en Argentina (Ley N° 9663 de 2005, Entre Ríos; Ley N° 13273 de 2013, Santa Fe; Ley N° 9814 de 2010, Córdoba). En un estudio reciente, se obtuvieron polvos mediante la molienda seca de diferentes fracciones anatómicas del fruto de *Neltuma affinis*, endocarpio-semilla y exocarpio-mesocarpio. Estos polvos presentaron buenas propiedades funcionales y de hidratación, con una coloración distintiva, alto contenido en fibra dietética y proteínas, y un perfil fenólico diverso. En este contexto, los polvos de *N. affinis* representan un prometedor ingrediente funcional que combina calidad nutricional, potencial bioactivo y funcionalidad tecnológica [Espósito et al., 2025]. Sin embargo, hasta el momento, se desconocen sus propiedades tecnológicas en la formulación de panificados SG.

2. Materiales y métodos

1.1. Materiales:

Los frutos maduros de *N. affinis* fueron recolectados en montes nativos de Entre Ríos, Argentina, entre noviembre y abril de los años 2022 a 2024. Posteriormente, se desinfectaron en una solución clorada al 1% (v/v) durante 1 hora y se secaron en un deshidratador de placas (FA10-MZ, COBOS, Argentina) a 50 °C durante 5 horas. Una vez limpios y secos, los frutos fueron almacenados en bolsas de polietileno de baja densidad a -12 °C hasta su utilización.

1.2. Métodos:

2.2.1. Obtención de polvos de *N. affinis*:

Para la molienda de los frutos, se empleó un molino de hélice de laboratorio (HC-1000 Y, Arcano, China). Porciones de 100 g fueron procesadas durante 15 segundos a 32 000 rpm. Posteriormente, el polvo obtenido se tamizó utilizando mallas de diferentes tamaños (A.S.T.M No. 5, 7, 10 y 20; Zonytest, Argentina) para separar las fracciones de exocarpio y mesocarpio del endocarpio y las semillas. Luego, estas fracciones fueron nuevamente molidas y tamizadas hasta obtener polvos con un tamaño de partícula <840 µm de las fracciones exocarpio-mesocarpio (EM) y endocarpio-semilla (ES). Finalmente, los polvos fueron almacenados en bolsas de polietileno de baja densidad con cierre hermético tipo Ziploc® a -12 °C hasta su uso.

2.2.2. Caracterización de los polvos obtenidos:

- Composición química:

Las proteínas fueron determinadas a través del método Kjeldahl (AOAC 984.13, 2005); los lípidos remanentes por el método de Soxhlet (AOAC 923.05, 2005), la fibra

dietética total, soluble e insoluble mediante el método enzimático-gravimétrico (AOAC 992.16, 2005); la humedad por secado en estufa (AOAC 925.09, 2005) y las cenizas por calcinación en mufla a 550°C (AOAC 936.07, 2005). Los carbohidratos se calcularon por diferencia (Genevois, Grenóvero y de Escalada Pla, 2021).

- **Propiedades físicas, funcionales y de hidratación:**

La densidad aparente (δ_b) y la densidad compactada (δ_c) fueron determinadas siguiendo la metodología propuesta por Ojeda et al. (2023).

La capacidad de retención de aceite (OHC), la capacidad de atrapamiento (WHC) y retención de agua (WRC) y la capacidad de hinchamiento (SC) se determinaron de acuerdo a Genevois, Grenóvero y de Escalada Pla (2021).

La solubilidad (S) fue determinada según la metodología reportada por Cano-Chauca et al. (2005), con modificaciones. Resumidamente, 0,5 g de polvo se hidrataron en 50 mL de agua destilada. Luego, las soluciones se agitaron en vórtex y se centrifugaron a 3.600 rpm (3000 g) durante 5 min. Se tomaron 10 mL de volumen de sobrenadante y se secaron en un horno a 105 °C hasta peso constante. La solubilidad se calculó a través de la Ecuación 1.

$$S (\%) = (\text{Peso seco del sobrenadante} \times \text{mL de solución}) \times 100 \quad (1)$$

1.1.3. Estudio de la aplicación de los polvos de *N. affinis* en la formulación de pan SG

La preparación de los panes SG se llevó a cabo utilizando una batidora (AEB-105, Alhías, China), siguiendo el diseño experimental establecido. Se mezclaron distintas proporciones de exo-mesocarpio (0,0-20,0 %), endocarpio-semilla (0,0-20,0 %), harina de arroz (0,0-50,0 %), almidón de maíz (0,0-50,0 %), sal (2,0 %), azúcar (5,0 %), hidroxipropilmetilcelulosa (0,5 %), aceite de girasol (6,0 %), levadura deshidratada (3,0 %) y agua (70-160 %). La mezcla se amasó durante 2 minutos a la velocidad más baja de la batidora (1-5). A continuación, se dispusieron porciones de masa de 30 g en moldes de aluminio (diámetro inferior de 40 mm, diámetro superior de 60 mm y altura de 60 mm) y se sometieron a fermentación a 30 °C y 90 % de humedad relativa durante el tiempo óptimo de fermentación (OFT) determinado para cada formulación (ver sección 2.2.4). Luego de la fermentación, las masas fueron horneadas en un horno eléctrico de convección (Pauna, Beta 21L, Argentina) a 180 °C durante 30 minutos. Finalmente, los panes se enfriaron a temperatura ambiente durante 1 hora y se almacenaron en bolsas de polipropileno selladas por 24 horas antes de realizar los análisis fisicoquímicos, con el fin de evitar la deshidratación.

- **Determinación del tiempo óptimo de fermentación (OFT)**

El tiempo óptimo de fermentación (OFT) para cada sistema se determinó aplicando la ecuación sigmoidea de Boltzmann, siguiendo la metodología descrita por Ojeda et al. (2023).

- **Caracterización de los panes SG**

La **textura** de la miga se evaluó utilizando un texturómetro (Modelo 3342, Instron, EE. UU.), siguiendo el método AACC 74-09 con algunas modificaciones (Genevois, Gre-

nóvero y de Escalada Pla, 2021). En resumen, se cortaron rebanadas de pan de 10 mm de espesor y luego, la miga se comprimió dos veces hasta alcanzar un 40 % de deformación, empleando una sonda cilíndrica de aluminio de 36 mm de diámetro a una velocidad de cruceta de 1,7 mm.s⁻¹. A partir del gráfico de Análisis de Perfil de Textura, representando la relación entre la fuerza (N) y la extensión (mm), se calculó el parámetro de firmeza (Mpa).

El **volumen específico** (VE) se determinó utilizando el método de desplazamiento de colza (AACC 10-05, 2010). Los resultados se expresaron en cm³.g⁻¹ (Genevois, Grenóvero y de Escalada Pla, 2021).

La **estructura alveolar de la miga** de pan se analizó en rebanadas de pan (10 mm de espesor) utilizando una imagen escaneada (HP, Ink Tank 315, China) con 1200 dpi de resolución. Las imágenes fueron procesadas utilizando el software Image J (V 1.8.0, National Institutes of Health, USA) con el algoritmo Otsu, siguiendo la metodología descrita por Genevois, Gróvero y de Escalada Pla (2021). Los parámetros reportados son tamaño celular (mm²; TC), densidad celular (número de alvéolos/mm²; DC) e inclusión de aire (%).

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado a partir de muestras independientes.

1.1.4. Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental Box-Behnken para analizar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes. El diseño incluyó tres factores; ES, EM y nivel de hidratación de la masa (AG) con tres niveles (-1; 0; +1) y tres puntos centrales (0; 0; 0). Los niveles de cada factor fueron los siguientes: ES y EM en 0, 10 y 20 g.100g⁻¹, y AG en 70, 115 y 160 mL.100g⁻¹. Los datos experimentales se ajustaron a una función polinómica de segundo grado (Ecuación 2):

$$\Psi = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + B_{11}x_1^2 + B_{22}x_2^2 + B_{33}x_3^2 + B_{12}x_1x_2 + B_{13}x_1x_3 + B_{23}x_2x_3 \quad (2)$$

Donde Ψ es la variable dependiente, x_1 , x_2 y x_3 son las variables independientes; B_0 es el valor ajustado de la respuesta en el punto central del diseño; B_1 , B_2 y B_3 son los coeficientes de regresión lineales; B_{11} , B_{22} y B_{33} son los coeficientes de regresión cuadráticos; y B_{12} , B_{13} y B_{14} son los coeficientes de interacción. La validez del modelo se evaluó mediante el coeficiente de determinación ($R^2 > 80\%$), el R^2 ajustado ($R^2_{ajustado} > 70\%$), la prueba de falta de ajuste ($p \geq 0,05$) y la estadística Durbin -Watson (>1) (Genevois, Grenóvero y de Escalada Pla, 2021).

El análisis estadístico se realizó mediante un ANOVA, se trabajó con un nivel de significancia (α) de 0,05, seguido de una prueba post-hoc LSD de Fisher para determinar diferencias entre los valores medios. Se utilizó la correlación se Pearson para evaluar asociaciones lineales entre variables cuantitativas. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software Statgraphics Centurion XVI (16.1.03, EE. UU.).

3. Resultados y discusión

3.1 Propiedades físico-químicas, funcionales y de hidratación de los polvos de *N. affinis*.

La molienda de los frutos de *N. affinis* permitió obtener dos fracciones: un 54±6% correspondiente a la fracción ES y un 46±6% a la fracción EM. La **Tabla 1** detalla la composición química, así como las propiedades físicas, funcionales y de hidratación de los polvos obtenidos.

El conocimiento de la composición centesimal de los polvos obtenidos proporciona información de relevancia para su posterior aplicación como nuevo ingrediente y/o aditivo en el diseño y formulación de alimentos. Mientras que, la comprensión de las propiedades físicas, funcionales y de hidratación tiene gran importancia para prever el comportamiento de los polvos ante los movimientos propios de un proceso tecnológico y durante el almacenamiento, como así también, conocer sus potenciales efectos al ser incorporados en un nuevo producto alimentario.

La fracción ES presentó un contenido significativamente mayor de fibra dietética total e insoluble en comparación con la fracción EM. No obstante, la fibra dietética fue el componente predominante en ambas fracciones. Los valores obtenidos superan los reportados para otras especies como *N. juliflora*, *N. ruscifolia* y *N. pallida*, lo que convierte a estos polvos en un ingrediente potencialmente interesante para incrementar el contenido de fibra en productos alimentarios y reducir el índice glucémico (Cavalcante et al., 2022; Ojeda, Genevois y Busch, 2023; Gonzales-Barron et al., 2020). Cabe destacar que, los productos SG suelen ser deficientes en fibra y presentan un alto índice glucémico, debido principalmente al uso de harinas refinadas (Vici et al., 2016).

Por otro lado, la fracción EM mostró un mayor contenido de carbohidratos, proteínas, cenizas y humedad en comparación con ES. El contenido de carbohidratos en estas harinas fue inferior al reportado en las fracciones de exo y mesocarpio de otras especies como *P. pallida* y *P. alba*, donde los monosacáridos y disacáridos predominan, aportando un sabor dulce característico (Gonzales-Barron et al., 2020; Rodríguez et al., 2019).

En cuanto a la proteína, los valores obtenidos fueron superiores a los registrados en los frutos de *N. alpataco*, *N. flexuosa*, *N. pallida* y *N. ruscifolia*. Este hallazgo sugiere que estos polvos podrían utilizarse como ingredientes para el enriquecimiento proteico de diversos alimentos (Hoffmann et al., 2024; Gonzales-Barron et al., 2020; Ojeda, Genevois y Busch, 2023).

Por el contrario, el contenido de lípidos no mostró diferencias significativas entre ambas fracciones y fue superior al registrado en *N. pallida* y *N. alba*, aunque inferior al de *N. alpataco* y *N. flexuosa*. Estas variaciones podrían estar relacionadas con diferencias en la morfología de los frutos y el tamaño de las semillas dentro de los frutos del género *Neltuma* spp. (Hoffmann et al., 2024; Rodríguez et al., 2019; Gonzales-Barron et al., 2020)

El contenido de humedad, un parámetro clave para la vida útil y la estabilidad microbiológica de los polvos, se encontró por debajo del límite máximo establecido por el *Codex Alimentarius* para harinas, y fue considerablemente menor al reportado en el epicarpio de *N. alba* (FAO, 2021; Rodríguez et al., 2019).

El contenido de cenizas fue superior al registrado en *N. flexuosa*, *N. alpataco* y *N. pallida*, lo que sugiere un alto contenido de minerales totales (Hoffmann et al., 2024; Gonzales-Barrón et al., 2020).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, los polvos obtenidos de diferentes fracciones del fruto de *N. affinis* podrían utilizarse para mejorar el perfil nutricional de productos alimenticios, incrementando el contenido de fibra dietética y proteínas; macronutrientes que tiene un rol importante en la saciedad y el control glucémico pos prandial.

Los polvos estudiados no presentaron diferencias significativas en términos de δb y δc . No obstante, estas propiedades fueron afectadas por el contenido de fibra insoluble, hallando una correlación negativa con la δb ($r=-0,8428$, $p=0,0351$; $r=-0,8627$, $p=0,0270$) y con la δc ($r=-0,8829$, $p=0,0198$; $r=-0,9158$, $p=0,0103$) en ES y EM, respectivamente. Esto podría deberse a que las fibras insolubles presentan una estructura porosa, lo que favorece la formación de espacios de aire entre las partículas de polvo, reduciendo así su densidad (Wang et al., 2020; Föste et al., 2020).

La fracción ES mostró una mayor OHC; propiedad funcional que correlacionó positivamente con el contenido de fibra insoluble ($r=0,9006$, $p=0,0143$). Las fibras insolubles tienen una mayor capacidad para retener aceite dentro de su matriz en comparación con las fibras solubles, debido a la mayor presencia de cadenas laterales no polares, las cuales interactúan con las cadenas hidrocarbonadas del aceite. En contraste, otras especies como *N. ruscifolia* y *N. juliflora* presentaron valores de OHC inferiores, lo que posiblemente se relaciona con su menor contenido de fibra insoluble. Estos resultados sugieren que los polvos obtenidos de *N. affinis* podrían actuar como ingredientes funcionales contribuyendo a la estabilización y palatibilidad de alimentos con alto contenido de grasas y emulsiones.

Las fracciones estudiadas mostraron diferencias significativas en términos de WRC y WHC, donde la fracción EM, en general, presentó mejores propiedades de hidratación respecto de ES; posiblemente debido al mayor contenido proteico. Estos valores fueron similares a los reportados en las especies *N. juliflora* y *N. ruscifolia* (Cavalcante et al., 2022; Ojeda, Genevois y Busch, 2023).

Por otro lado, la fracción ES obtuvo mayor SC, propiedad que fue afectada positivamente por el contenido de fibra insoluble de esta fracción ($r=0,8176$, $p=0,0469$). La presencia de grupos hidroxilo en la estructura de las fibras facilita la unión con moléculas de agua, favoreciendo la hidratación y el consecuente hinchamiento de la materia (Genevois, Grenóvero y de Escalada Pla, 2021; Föste et al., 2020).

Por último, la S fue mayor en la fracción EM. La fibra insoluble presente en esta fracción afectó negativamente esta propiedad ($r=-0,9844$, $p=0,0004$), mientras que, el contenido de carbohidratos totales, la afectó de forma positiva. La solubilidad de los monosacáridos y oligosacáridos depende en gran medida de los grupos hidroxilos presentes en su estructura (Föste et al., 2020). Asimismo, el contenido de humedad disminuyó la S ($r = -0,8989$, $p = 0,0148$), fenómeno producido por la formación de enlaces de hidrógeno entre partículas que promueven la aglomeración, disminuyendo así su interacción con el agua (Cano-Chauca et al., 2005).

Los resultados obtenidos destacan a la fibra dietaria como principal componente de los polvos de *N. affinis*, y sus propiedades físicas, funcionales y de hidratación. Estas fibras confieren a los polvos una baja densidad, buena capacidad de retención de aceite y agua. Estas características podrían ser de gran interés para la industria alimentaria, ya que contribuirían a mejorar la densidad, estabilidad y textura de los productos en los que se incorporen.

3.2 Efectos de la adición de distintos niveles de ES, EM y AG, sobre la textura, volumen específico y estructura alveolar de panes SG.

El uso de ingredientes funcionales en la formulación de panificados SG, requiere el estudio previo de sus TOF, a fin de favorecer la retención de CO₂ en la estructura de la masa, producido por las levaduras durante el proceso de fermentación. En las formulaciones ensayadas los TOF oscilaron entre 10 y 67 minutos; existiendo una correlación lineal positiva moderada entre el TOF y nivel de hidratación de la masa (0,5452, p=0,0355); donde los sistemas con TOF más cortos presentaron los niveles de hidratación más bajos.

En la **Tabla 2** se detallan los resultados de VE, firmeza, % de inclusión de aire, TC y DC para cada sistema del diseño experimental; mientras que en la **Tabla 3** se encuentran los coeficientes de regresión de cada variable respuesta ajustada al modelo y los parámetros estadísticos para evaluar su adecuación.

El VE es un parámetro de importancia para evaluar la calidad de los panificados. En los sistemas analizados se halló que el AG tiene un efecto positivo sobre el VE (p<0,05). Otros autores han hallado el mismo efecto en formulaciones de panes elaborados con harinas SG convencionales y no convencionales (Belorio y Gómez, 2020; Irigoytia et al., 2024). El agua tiene un efecto plastificante que contribuye a las propiedades extensivas durante el amasado, factor crucial para la elaboración de panes SG (De La Hera, Rosell y Gomez, 2014).

En contraste, los polvos analizados afectaron de forma negativa el VE (p<0,05). Esto podría deberse a su alto contenido de fibra dietaria, que posiblemente podría limitar la retención de gas durante el proceso de fermentación (Irigoytia et al., 2024). El sistema control, elaborado sólo a base de harinas refinadas, presentó el mayor (p<0,05) VE. Por otro lado, los términos cuadráticos de ambos polvos junto con el AG presentaron un efecto significativo, representado por la concavidad observada en el gráfico de superficie de respuesta (**Figura 1.a**), lo que sugiere un valor mínimo de estos factores en la optimización.

Asimismo, el TOF impactó sobre el VE, mostrando una correlación positiva (r=0,8019, p=0,0003). Durante el proceso de fermentación, el CO₂ producido principalmente por las levaduras, queda retenido en la masa aumentando su volumen, por lo que el tiempo de fermentación podría afectar la calidad final del panificado (Irigoytia et al., 2024).

Otro indicador de la calidad y frescura del pan es la firmeza de su miga. El AG fue el factor que más impactó en la firmeza de los sistemas analizados, donde mayores niveles de hidratación resultaron en una menor firmeza (r=-0,7862, p=0,0005; **Tabla 2**); este fenómeno podría deberse a que una mayor absorción de agua reduce la firmeza de la miga, permitiendo la expansión de los alveolos que retienen el CO₂ durante el proceso de fermentación (Mudgil, Barak y Khatkar, 2016). El término cuadrático del AG y EM también fueron significativos, sugiriendo un valor mínimo en la optimización (**Fig. 1.b**). Los sistemas con niveles medios y altos de EM y niveles bajos de AG dieron como resultado migas muy firmes (sistemas # 10, 11 y 14). Asimismo, la firmeza mostró una correlación lineal negativa con el TOF y el VE (r=-0,7379, p= 0.0007, y r= -0.6089, p=0.0095, respectivamente).

Finalmente, la estructura alveolar determina en gran medida la textura de los panes y su aceptabilidad en consumidores, donde migas aireadas y suaves son indicadores de buena calidad (Irigoytia et al., 2024). El TC se ajustó a un modelo lineal, siendo afecta-

do únicamente por el AG ($r=0,8281$, $p=0,0001$; **Fig. 1c**). El agua reduce la viscosidad de la masa, permitiendo que el gas se distribuya y expanda con mayor facilidad en la red visco elástica, favoreciendo la formación de alveolos más grandes. Resultados similares se han reportado en panificados SG a base de amaranto, donde elevados niveles de hidratación aumentaron el TC y VE, y redujeron la firmeza (Schoenlechner *et al.*, 2010). Además, el TOF y VE presentaron una correlación positiva con el TC ($r=0,55896$, $p=0,00207$ y $0,5274$, $p=0,0434$, respectivamente); durante la fermentación, el gas producido es retenido en la masa, generando alveolos estables que luego de la cocción incrementan el volumen del pan.

Por el contrario, el AG tuvo un efecto lineal negativo sobre la DC ($r=-0,8340$, $p=0,0001$), sugiriendo que valores bajos de AG en la formulación incrementan la DC en la miga del pan. Por ejemplo, en el sistema con el nivel más bajo de AG aumentó el ~1000% la DC, respecto de sistemas con el nivel más alto de AG (sistema #12 vs. Sistema #3; **Fig. 2**). El término cuadrático del AG y la fracción ES también se ajustaron al modelo y presentaron un efecto significativo, resaltando su importancia en la optimización (**Fig.1d**) Asimismo, la interacción entre AG y ES afectó positivamente la DC, sugiriendo un efecto sinérgico entre ambos factores. Por otro lado, y en concordancia con los resultados obtenidos, también se observó una correlación lineal negativa entre la DC y TC ($r=-0,9523$, $p=<0,0001$), y una correlación lineal positiva con el parámetro textural de firmeza ($r=0,9042$, $p=<0,0001$).

La fracción ES impactó de forma positiva sobre el porcentaje de inclusión de aire en la miga ($r=0,5512$, $p=0,0332$). Esto podría explicarse debido al elevado contenido de fibra insoluble de ES, que a su vez poseen alta SC (**Tabla 1**) respecto de la fracción EM, lo cual posiblemente podría favorecer la capacidad de retener los gases producidos durante la fermentación. El mismo efecto fue reportado tras la incorporación de harina de *N. laevigata* en panes SG (Korus *et al.*, 2022). En el mismo sentido, se ha demostrado que la adición de harinas ricas en fibra como amaranto, trigo sarraceno, garbanzos, quinua y mijo en panificados SG, mejora la textura de la miga, logrando alveolos más abiertos y una miga aireada (Burešová *et al.*, 2017). Por otro lado, los términos cuadráticos de EM y de interacción entre ES-AG, afectaron de forma negativa la inclusión de aire en la miga (**Fig.1e**).

3.3 Optimización del contenido de ES, EM y AG en la formulación de panes SG.

Los resultados anteriores permitieron conocer el efecto de cada uno de los factores sobre la textura y la estructura alveolar de la miga y su importancia al momento de optimizar la formulación de pan SG. Por lo tanto, la optimización de los factores estudiados se realizó maximizando el VE y el % de inclusión de aire en la miga, y minimizando la firmeza. La combinación obtenida fue de $20 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de ES, $0 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de EM y $113 \text{ mL} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de AG, con una deseabilidad de 0.81; cuyos valores predichos fueron: VE $4,2 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$, firmeza 0,05 Mpa y 22,2 % de inclusión de aire, resultando similares al sistema #2 del diseño experimental (**Tabla 2; Fig. 2**).

Conclusiones

A partir del fruto de *N. affinis* se lograron obtener dos ingredientes funcionales (ES y EM) con óptimas propiedades tecnológicas y un perfil nutricional enriquecido en fibras y proteínas. Las fibras, como componente predominante en estos polvos, influyeron significativamente en sus propiedades físicas, funcionales y de hidratación, reduciendo la densidad y mejorando la capacidad de retención de aceite, así como su hinchamiento en medios acuosos.

El estudio de la aplicación de estos polvos en la formulación de panes SG mejoró la calidad del producto final. La combinación de distintos niveles de ES, EM y AG impactó sobre el VE, las características texturales y la estructura alveolar de pan SG. En términos generales, un mayor contenido de agua favoreció la formación de migas menos firmes, con alvéolos más grandes y menos densos, lo que resultó en panes con mayor VE. Por otro lado, niveles elevados de ES aumentaron el porcentaje de inclusión de aire, mientras que concentraciones altas de ES y EM redujeron el VE del pan. Estos resultados sugieren que proporciones adecuadas de las fracciones de ES y EM en una formulación de pan SG mejoran aspectos tecnológicos y nutricionales del mismo. Por ello, la formulación óptima obtenida en este estudio podría servir como base para el desarrollo de nuevos productos panificados SG, utilizando materias primas alternativas a las harinas convencionales. Además, el empleo de polvos derivados del fruto de *N. affinis* representan una opción innovadora para la industria panadera, promoviendo a su vez la valorización y sostenibilidad de una especie autóctona subutilizada en Argentina y América Latina.

Tabla 1: Características físico-química de los polvos de *N. affinis*

	ES	EM
Composición centesimal		
Proteínas (g.100 g ⁻¹)	9 ± 2 ^a	16 ± 3 ^b
Lípidos (g.100 g ⁻¹)	2.3 ± 0.8 ^a	1.9 ± 0.3 ^a
Carbohidratos (g.100 g ⁻¹)	8.4 ± 0.5 ^a	13.8 ± 0.8 ^b
Fibra dietética total (g.100 g ⁻¹)	71 ± 6 ^b	53 ± 6 ^a
Fibra soluble (g.100 g ⁻¹)	6.5 ± 0.9 ^a	8 ± 1 ^a
Fibra insoluble (g.100 g ⁻¹)	64 ± 5 ^b	44 ± 7 ^a
Humedad (g.100 g ⁻¹)	6.3 ± 0.5 ^a	9.2 ± 0.8 ^b
Cenizas (g.100 g ⁻¹)	2.9 ± 0.2 ^a	6 ± 1 ^b
Propiedades físicas, funcionales y de hidratación		
δb (g.mL ⁻¹)	0.38 ± 0.07 ^a	0.40 ± 0.02 ^a
δc (g.mL ⁻¹)	0.5 ± 0.2 ^a	0.42 ± 0.02 ^a
OHC (g.g ⁻¹)	2.8 ± 0.2 ^b	2.5 ± 0.2 ^a
WHC (g.g ⁻¹)	6.2 ± 0.5 ^a	7.9 ± 0.6 ^b
WRC (g.g ⁻¹)	5 ± 1 ^a	7.4 ± 0.4 ^b
SC (mL.g ⁻¹)	7.5 ± 0.3 ^b	7.1 ± 0.3 ^a
S (%)	0.13 ± 0.01 ^a	0.35 ± 0.04 ^b

Letras diferentes entre muestras indican diferencias significativas ($p < 0,05$) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2: Matriz del Diseño Experimental Box-Behnken, y las variables independientes y variables respuestas estudiadas en la formulación de pan SG elaborados a base de polvos obtenidos del fruto de *N. affinis*.

	Factores			Variables respuestas				
	ES ¹	EM ²	AG ³	VE ⁴	Firmeza ⁵	% inclusión de aire ⁶	TC ⁷	DC ⁸
S1*	10	10	115	1,90 ± 0,02 ^{cde}	0,39 ± 0,09 ^d	22,91 ± 2,66 ^{gh}	0,81 ± 0,07 ^{def}	0,16 ± 0,01 ^{bc}
S2	20	0	115	3,93 ± 0,55 ⁱ	0,07 ± 0,01 ^a	25,24 ± 0,27 ^{hi}	0,87 ± 0,11 ^f	0,08 ± 0,01 ^a
S3	0	10	160	2,93 ± 0,47 ^h	0,20 ± 0,03 ^c	19,40 ± 1,08 ^{def}	0,77 ± 0,01 ^{def}	0,07 ± 0,03 ^{ab}
S4	20	10	160	3,00 ± 0,04 ^{gh}	0,12 ± 0,02 ^{abc}	16,88 ± 2,95 ^d	0,72 ± 0,04 ^{bcde}	0,15 ± 0,05 ^{bc}
S5	10	20	160	1,47 ± 0,04 ^{cde}	0,16 ± 0,06 ^{bc}	21,31 ± 2,12 ^{fg}	0,69 ± 0,03 ^{bcd}	0,14 ± 0,01 ^{abc}
S6	10	0	160	2,70 ± 1,69 ^{fg}	0,31 ± 0,06 ^d	16,39 ± 1,26 ^{bcd}	0,85 ± 0,03 ^{ef}	0,12 ± 0,03 ^{abc}
S7*	10	10	115	1,77 ± 0,17 ^{cd}	0,39 ± 0,07 ^d	20,52 ± 1,53 ^{fg}	0,61 ± 0,07 ^b	0,18 ± 0,03 ^c
S8	0	20	115	4,05 ± 0,11 ⁱ	0,13 ± 0,02 ^{abc}	13,48 ± 2,36 ^{abc}	0,63 ± 0,04 ^{bc}	0,15 ± 0,01 ^{abc}
S9	20	20	115	2,36 ± 0,09 ^{def}	0,38 ± 0,06 ^d	20,01 ± 1,00 ^{efg}	0,71 ± 0,04 ^{bcd}	0,18 ± 0,02 ^c
S10	10	20	70	1,01 ± 0,01 ^a	1,21 ± 0,06 ^f	17,13 ± 1,37 ^{de}	0,25 ± 0,09 ^a	1,26 ± 0,06 ^f
S11	0	10	70	1,15 ± 0,28 ^{ab}	1,98 ± 0,17 ^h	16,63 ± 1,81 ^{cde}	0,27 ± 0,01 ^a	1,16 ± 0,10 ^e
S12	10	0	70	1,54 ± 0,28 ^{bc}	1,00 ± 0,04 ^e	10,64 ± 1,67 ^a	0,21 ± 0,01 ^a	1,23 ± 0,03 ^f
S13	0,0	0,0	115	5,22 ± 0,51 ^j	0,10 ± 0,04 ^{ab}	12,77 ± 0,66 ^{ab}	0,62 ± 0,11 ^{bc}	0,13 ± 0,02 ^{abc}
S14	20	10,0	70	1,48 ± 0,10 ^{abc}	1,73 ± 0,01 ^g	28,67 ± 0,83 ⁱ	0,27 ± 0,11 ^a	1,06 ± 0,02 ^d
S15*	10,0	10,0	115	2,14 ± 0,03 ^{ef}	0,34 ± 0,05 ^d	23,30 ± 1,11 ^{gh}	0,72 ± 0,09 ^{cd}	0,14 ± 0,03 ^{abc}

*: réplicas del punto central del diseño experimental.

1: Polvo de endocarpio-semilla del fruto de *N. affinis* (%).

2: Polvo de exocarpio-mesocarpio del fruto de *N. affinis* (%).

3: Agua (mL.100g⁻¹).

4: Volumen específico (cm³.g⁻¹).

5: Firmeza del pan (Mpa).

6: Inclusión de aire (%).

7: Tamaño de celda (mm²).

8: Densidad celular (número de célula/mm²).

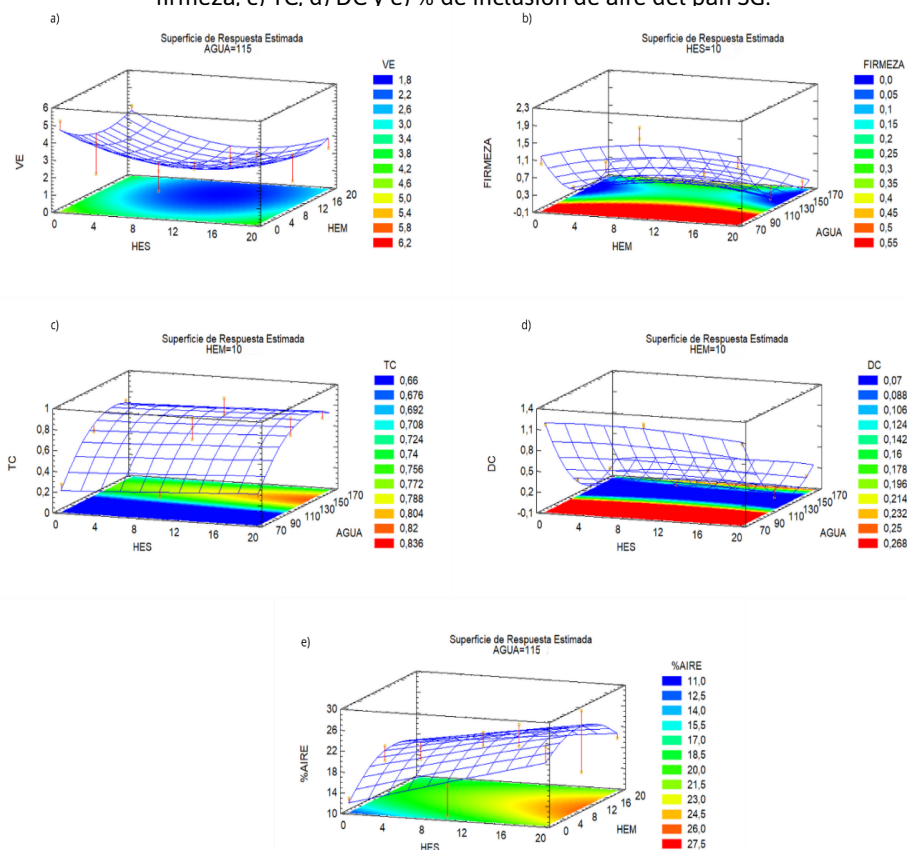
Letras diferentes entre sistemas para un mismo parámetro indican diferencias significativas (p<0,05) con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3: Coeficientes de regresión del ajuste al modelo polinomial de segundo grado de las variables respuestas para la formulación de pan SG.

	Coeficientes de regresion				
	VE	Firmeza	% de inclusión de aire	TC	DC
Constante	-4,03251	5,44982	-9,72314	-1,49545	4,87262
A: ES	-0,249521*	-0,0336768	1,47391*	0,0108253	-0,00371794
B: EM	-0,151687*	0,0746685	1,18242	0,0150517	-0,00453379
C: AG	0,132816*	-0,0780719*	0,283166	0,030508*	-0,0696313*
AA	0,0121398*	0,000716076	-0,00171272	0,00000837516	-0,000515072*
AB	-0,00100502	0,000703513	-0,0149245	-0,000427133	0,000201004
AC	-0,000139237	0,0000946811	-0,00810916*	-0,0000278474	0,000100251*
BB	0,00749158*	-0,00267586*	-0,0421899*	-0,0000670013	0,000263817
BC	-0,000389864	-0,000200501	-0,000874408	-0,00011139	-0,00000556948
CC	-0,000494856*	0,000282099*	-0,000828601	-0,000102058	0,000247531*
R²	90,2702	92,6401	72,3962	94,6297	99,7505
R²_{aj}	72,7565	76,0804	22,7094	84,9632	99,3013
Falta de ajuste	0,0528	0,0712	0,0727	0,6437	0,1457
DW	2,471	2,5573	2,45384	1,53348	2,16978

* coeficientes significativos del modelo (p<0,05)

Figura 1: Gráficos de superficie de respuesta de los efectos de los distintos niveles de ES, EM y AG sobre: a) VE, b) firmeza, c) TC, d) DC y e) % de inclusión de aire del pan SG.



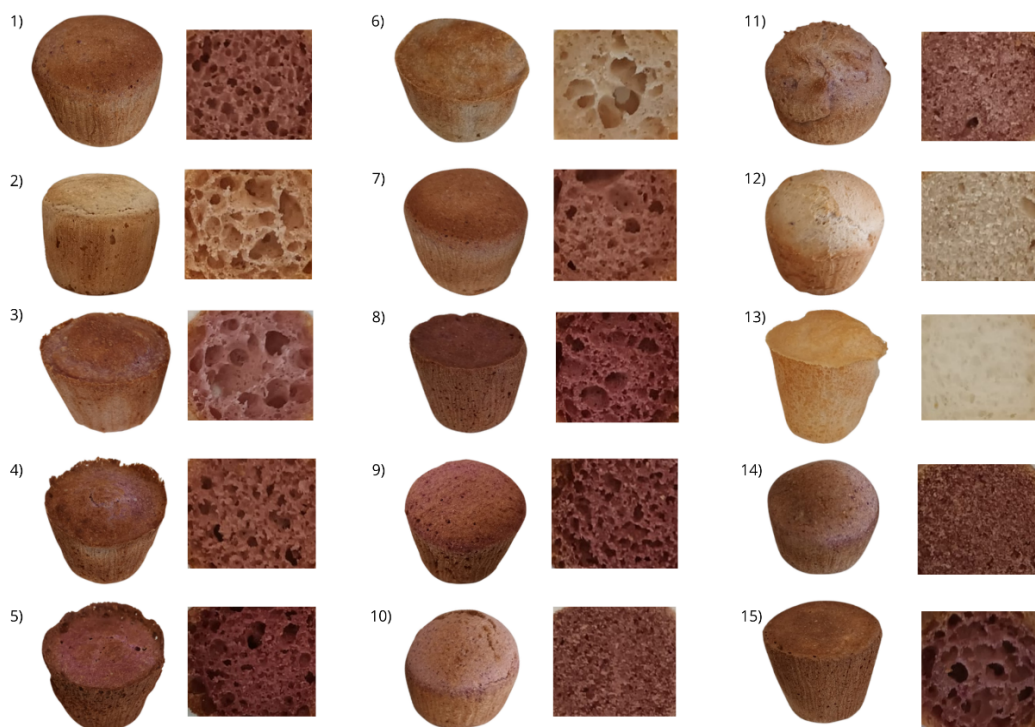


Figura 2: Imagen de las migas y panes SG del Diseño Experimental.

Indicadores de Producción

Physicochemical, Nutritional and Functional Properties of *Neltuma affinis* Pod Powders: a Novel Ingredient for Food Applications. Nancy N. Esposito, Katarzyna Dawidowicz, Francisco J. Martí-Quijal, Juan M. Castagnini, Lucía E. Brelis, Renzo Sanchez, M. del Pilar Buera, Verónica M. Busch, Carolina E. Genevois. *Plant Foods for Human Nutrition* (2025) 80:153 <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01396-7>

Effect of cornstarch partial substitution by millet flour and agro-industrial by-products. Karen Irigoytia, Carolina Genevois, Marina de Escalada Pla. *Future Foods* 11 (2025) 100515. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100515>

Technological and multi-sensory analysis approach to holistically understand the quality and consumer perception of gluten-free breads with alternative flours. Irigoytia .F., Espósito N.N., de Escalada Pla M.F., Parodi M.B., Genevois C.E. (2024) *International Journal of Food Science and Technology* <https://doi.org/10.1111/ijfs.17557>

Designing Gluten Free Bakery and Pasta Products (2023) de Escalada Pla M. & Genevois C. (Eds). Springer. ISBN 978-3-0321-28344-4 (e-book) ISBN 978-3-031-28343-7 (printed book).

Esposito N., Irigoytia K., Busch V., Castagnini J.M., Buera P., Genevois C. (2023) Novel Flours from *Neltuma affinis* Fruit for Improving the Technological Quality and Alveolar Structure of Gluten-Free Bread. *Biol. Life Sci. Forum* 2023, 26, 119. <https://doi.org/10.3390/Foods2023-15516>

Ojeda L., Genevois C.E., Busch V. (2023) Novel flours from leguminosae (*Neltuma rus-cifolia*) pods for technological improve and nutritional enrichment of wheat bread.

- Helyon, (7)9: e17774. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17774>
- Karen Irigoytia, María Belén Parodi, Nancy Espósito, Marina de Escalada Pla, Carolina Genevois (2023) Sensory Profile of Gluten-Free Breads Based on Alternative Commercial Flours. *Biol. Life Sci. Forum* 2023, 26, 124. <https://doi.org/10.3390/Foods2023-15217>
- Irigoytia K., Espósito N., Busch V., de Escalada Pla M.F., Genevois C.E. (2023) Fermented Gluten-Free Baked Goods. In de Escalada Pla M. & Genevois C. (Eds). **Designing Gluten Free Bakery and Pasta Products**. Springer. ISBN 978-3-0321-28344-4 (e-book) ISBN 978-3-031-28343-7 (printed book).
- de Escalada Pla M.F., Silva N., Castellanos-Fuentes A., Molina D., Genevois C.E. (2023). Gluten Free Non-Fermented Bakery. In de Escalada Pla M. & Genevois C. (Eds). **Designing Gluten Free Bakery and Pasta Products**. Springer. ISBN 978-3-0321-28344-4 (e-book) ISBN 978-3-031-28343-7 (printed book).
- Castellano-Fuentes A.P., Genevois C.E., Flores S.K., de Escalada Pla M.F. (2023) Novel application of a food ingredient based on soybean extruded-expelled meal containing probiotics for improving gluten free bread quality. *Int Journal Food Sci & Tech* (58), 12, 6855-6861. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16727>

Referencias Bibliográficas

- Belorio, M. and M.G. (2020) 'Effect of Hydration on Gluten-Free Breads Made with Hydroxypropyl Methylcellulose in Comparison with', *Foods* [Preprint].
- Bigne, F., Puppo, M.C. and Ferrero, C. (2016) 'Fibre enrichment of wheat flour with mesquite (*Prosopis* spp.): Effect on breadmaking performance and staling', *LWT*, 65, pp. 1008–1016. [doi:10.1016/j.lwt.2015.09.028](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.028).
- Bigne, F., Puppo, M.C. and Ferrero, C. (2018) 'Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a "panettone-like" bread. Applicability of part-baking technology', *LWT*, 89, pp. 666–673. [doi:10.1016/j.lwt.2017.11.029](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.029).
- Burešová, I. et al. (2017) 'The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread', *Journal of Cereal Science*, 75, pp. 158–164. [doi:10.1016/j.jcs.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.004).
- Campos, N; Felker, P y Puppo, MC. (2022) 'Regional traditional foods from *Prosopis* spp. of the northwest of Argentina', en MC. Puppo y P. Felker (ed.) *Prosopis as a heat-tolerant nitrogen fixing desert food legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. Academic Press: Elsevier, pages. 253-262.
- Cano-Chauca, M. et al. (2005) 'Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4), pp. 420–428. [doi:10.1016/j.ifset.2005.05.003](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003).
- Capparelli, A (2022) 'Ethnobotany of *Prosopis* spp., past evidence of the fruit use and experimental archaeology applied to the interpretation of ancient food processing', en MC. Puppo y P. Felker (ed.) *Prosopis as a heat-tolerant nitrogen fixing desert food legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. Academic Press: Elsevier, pages. 106-133.
- Cavalcante, A.M. de M. et al. (2022) 'Mesquite (*Prosopis juliflora*) grain flour: New ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications', *Future Foods*, 5(January), p. 100114. [doi:10.1016/j.fufo.2022.100114](https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100114).

- Circular Economy (2020). Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- De La Hera, E., Rosell, C.M. and Gomez, M. (2014) 'Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility', *Food Chemistry*, 151, pp. 526–531. [doi:10.1016/j.foodchem.2013.11.115](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115).
- FAO. (2021). Norma para la harina de trigo. CXS 152-1985. CODEX ALIMENTARIUS: Normas alimentarias internacionales, 4(4), 1–4
- Föste, M. et al. (2020) 'Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies', *Food Chemistry*, 306(September 2019), p. 125451. [doi:10.1016/j.foodchem.2019.125451](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125451).
- Genevois, C.E., Grenóvero, M.S. and de Escalada Pla, M.F. (2021) 'Use of different proportions of rice milling fractions as strategy for improving quality parameters and nutritional profile of gluten-free bread', *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), pp. 3913–3923. [doi:10.1007/s13197-020-04852-1](https://doi.org/10.1007/s13197-020-04852-1).
- Gonzales-Barron, U. et al. (2020) 'Nutritive and bioactive properties of mesquite (*Prosopis pallida*) flour and its technological performance in breadmaking', *Foods*, 9(5). [doi:10.3390/foods9050597](https://doi.org/10.3390/foods9050597).
- Hoffmann, E. et al. (2024) 'Bioactivity of *Prosopis alpataco* and *Prosopis flexuosa* flours: Healthy alternatives as ingredients for nutritional foods', *Food Bioscience*, 58(September 2023), pp. 1–8. [doi:10.1016/j.fbio.2024.103778](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103778).
- Hughes, C.E. et al. (2022) 'Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade)', *PhytoKeys*, 205, pp. 147–189. [doi:10.3897/PHYTOKEYS.205.75379](https://doi.org/10.3897/PHYTOKEYS.205.75379).
- Irigoytia, K.F. et al. (2024) 'Technological and multi-sensory analysis approach to holistically understand the quality and consumer perception of gluten-free breads with alternative flours', *International Journal of Food Science and Technology*, pp. 1–9. [doi:10.1111/ijfs.17557](https://doi.org/10.1111/ijfs.17557).
- Korus, J. et al. (2022) 'Mesquite (*Prosopis* L.) as a functional ingredient in gluten-free dough and bread', *Lwt*, 168(April). [doi:10.1016/j.lwt.2022.113957](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113957).
- Ley N° 9663. Entre Ríos (2005). Argentina. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/arg75312.pdf>
- Ley N° 13273. Santa Fe (2013). Argentina. <https://www.santafe.gov.ar/normativa/getFile.php?id=228325&item=109836&cod=57bbd28c7b452d42781ebf69816e0ab6>
- Ley N° 9814. Córdoba (2010). Argentina. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/arg128795.pdf>
- Mollakhalili Meybodi, N., Mohammadifar, M.A. and Feizollahi, E. (2015) 'Gluten-free bread quality: A review of the improving factors', *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 2(3), pp. 81–85.
- Mudgil, D., Barak, S. and Khatkar, B.S. (2016) 'Optimization of bread firmness, specific loaf volume and sensory acceptability of bread with soluble fiber and different water levels', *Journal of Cereal Science*, 70, pp. 186–191. [doi:10.1016/j.jcs.2016.06.009](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.009).
- Ojeda, L., Genevois, C.E. and Busch, V. (2023) 'Novel flours from leguminosae (*Neltuma ruscifolia*) pods for technological improvement and nutritional enrichment of wheat bread', *Heliyon*, p. e17774. [doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17774](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17774).
- Rodriguez, I.F. et al. (2019) 'Morphological, histological, chemical and functional characterization of *Prosopis alba* flours of different particle sizes', *Food Chemistry*, 274, pp. 583–591. [doi:10.1016/j.foodchem.2018.09.024](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.024).

- Roman, L., Belorio, M. and Gomez, M. (2019) 'Gluten-Free Breads: The Gap Between Research and Commercial Reality', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Blackwell Publishing Inc., pp. 690–702. [doi:10.1111/1541-4337.12437](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12437).
- Schoenlechner, R. et al. (2010) 'Effect of water, albumen and fat on the quality of gluten-free bread containing amaranth', *International Journal of Food Science and Technology*, 45(4), pp. 661–669. [doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02154.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02154.x).
- Sciammaro, L.P., Ferrero, C. and Puppo, M.C. (2018) 'Gluten-free baked muffins developed with *Prosopis alba* flour', *LWT*, 98, pp. 568–576. [doi:10.1016/j.lwt.2018.09.045](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.045).
- Sciammaro, LP; Quintero Ruiz, NA; Ferrero, C y Puppo MC. (2022) 'Chemical and nutritional composition of *Prosopis* spp. seeds and pods', en MC. Puppo y P. Felker (ed.) *Prosopis as a heat-tolerant nitrogen fixing desert food legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. Academic Press: Elsevier, pags. 297-304.
- Taraghikhah, N. et al. (2020) 'An updated overview of spectrum of gluten-related disorders: Clinical and diagnostic aspects', *BMC Gastroenterology*, 20(1), pp. 1–12. [doi:10.1186/s12876-020-01390-0](https://doi.org/10.1186/s12876-020-01390-0).
- Vici, G. et al. (2016) 'Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review', *Clinical Nutrition*. Churchill Livingstone, pp. 1236–1241. [doi:10.1016/j.clnu.2016.05.002](https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.05.002).
- Wang, X. et al. (2020) 'Insoluble dietary fibre from okara (soybean residue) modified by yeast *Kluyveromyces marxianus*', *Lwt*, 134(September), p. 110252. [doi:10.1016/j.lwt.2020.110252](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110252).

PID9122 Denominación del Proyecto

Obtención y caracterización de ingredientes y/o aditivos funcionales a partir de la molienda de *Prosopis spp.*

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Bromatología

Contacto

carolina.genevois@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Diseños de Experimentos

Instituciones intervinientes públicas o privadas

se llevaron a cabo actividades de investigación en colaboración con el Instituto de Tecnología de Alimentos y Procesos Químicos (ITAPROQ-CONICET-FCEN UBA). Estas colaboraciones académicas entre Investigadores de la FCEN UBA y FBRO UNER para favorecer la implementación de acciones conjuntas en el marco del presente Proyecto de Investigación, se formalizaron a través de la suscripción de un Convenio Específico entre dichas Instituciones (Resolución CD No 0989/20).

Integrantes del proyecto

Directora

Genevois, Carolina E.

Codirectora

Busch, Verónica M.

internos-docentes: LENCINA María Sabrina; CARBONI Paola; CARMONA Camila J; MILLER Lorena V.; IRIGOYTIA Karen F.; ESPÓSITO Nancy N. Integrantes becarios de formación vinculados al PID: Magallan, Ailen y Zifferman, Camila.

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

01/03/2022 y 28/02/2025

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 202/25 (04-07-2025)