

ARTÍCULO ORIGINAL**Efecto de los fructooligosacáridos (FOS) del tipo inulina del yacón en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan****Effect of inulin-type fructooligosaccharides (FOS) from yacon on the physicochemical and sensory characteristics of bread**Giancarlo Pérez-Mejía¹  y Alfredo Lizana-Adrianzén² **RESUMEN**

La actual industria alimentaria impulsa el interés en alimentos que no solo satisfagan necesidades básicas, sino que también promuevan la salud. En este contexto, el yacón, con su jarabe rico en fructooligosacáridos (FOS), emerge como una valiosa fuente vegetal para mejorar las propiedades del pan. Este estudio evaluó los efectos de la adición de FOS del yacón en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan. Se empleó una metodología tradicional que incluyó la elaboración del pan con diferentes concentraciones del jarabe. Los resultados revelaron que los tratamientos con 0.5% y 1.5% de jarabe de yacón destacaron en densidad aparente, forma de celdas de miga y apariencia de miga. En la evaluación sensorial, los tratamientos con 0% y 0.5% obtuvieron las mejores puntuaciones en color de costra, textura y sabor. En conclusión, la adición de FOS al pan demostró mejorar significativamente sus características fisicoquímicas y sensoriales: la adición de 0.5% y 1.5% mejoró la densidad y la apariencia del pan, mientras que los tratamientos con 0% y 0.5% obtuvieron mejores calificaciones sensoriales.

Palabras clave: Pan, jarabe de yacón, fructooligosacáridos, propiedades fisicoquímicas, evaluación sensorial.

ABSTRACT

The current food industry drives interest in foods that not only satisfy basic needs, but also promote health. In this context, yacon, with its fructooligosaccharides (FOS)-rich syrup, emerges as a valuable plant source for improving the properties of bread. This study evaluated the effects of FOS addition from yacon on the physicochemical and sensory characteristics of bread. A traditional methodology involving bread making with different concentrations of the syrup was employed. The results revealed that the treatments with 0.5% and 1.5% yacon syrup excelled in bulk density, crumb cell shape and crumb appearance. In the sensory evaluation, the 0% and 0.5% treatments scored best in crust colour, texture and flavour. In conclusion, the addition of FOS to bread was shown to significantly improve its physicochemical and sensory characteristics: the addition of 1.5% and 0.5% improved bread density and appearance, while the 0% and 0.5% treatments obtained better sensory ratings.

Keywords: Bread, yacon syrup, fructooligosaccharides, physicochemical properties, sensory evaluation.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Email: giancarlo.perez@unj.edu.pe

² Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: alfredo.lizana@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria en su evolución constante hacia productos que no solo satisfacen necesidades básicas sino también promueven la salud, ha dado lugar a la destacada categoría de alimentos funcionales. Estos no solo suministran nutrientes esenciales, sino que también ofrecen beneficios específicos para la salud (Campos et al., 2012; Oh et al., 2023). En este contexto, ingredientes como la inulina y los fructooligosacáridos (FOS) han cobrado relevancia. Peng et al. (2022) respaldan la aplicabilidad y simplicidad de la incorporación de estos ingredientes en productos alimenticios, subrayando su importancia en la formulación de alimentos funcionales.

El yacón, con su alto contenido de FOS en el jarabe, emerge como una prometedora fuente vegetal para la industria alimentaria en busca de ingredientes funcionales. Con concentraciones entre un 40% y un 50% de FOS, el jarabe de yacón no solo destaca por sus propiedades prebióticas, sino que también ha demostrado mejorar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del pan cuando se incorpora, ofreciendo así una alternativa innovadora y saludable (Sales et al., 2023; Silva et al., 2018).

El pan, como alimento básico global, se convierte en un vehículo ideal para aprovechar la utilidad prebiótica de los FOS. Esto no solo mejora sus propiedades, sino que introduce el concepto novedoso de pan prebiótico, generando oportunidades de promoción para las empresas y respaldo a través de políticas de salud estatales (Liu et al., 2024).

El alcance de esta investigación abarca la evaluación de los efectos de la adición de FOS del yacón en algunas propiedades del pan, que incluyen análisis fisicoquímicos como densidad aparente, forma y número de celdas de miga por 0.5 cm² y determinación de azúcares reductores, glucosa y fructosa (antes y después de hidrólisis ácida), asimismo el análisis sensorial. Es importante reconocer algunas limitaciones inherentes a este estudio, como la necesidad de considerar factores como la estabilidad de los prebióticos durante el procesamiento del pan y su interacción con otros ingredientes. Además, se debe tener en cuenta la variabilidad en las preferencias de los consumidores y su disposición a aceptar cambios en las características tradicionales del pan.

En cuanto a la revisión de la literatura consultada, se destaca la importancia de investigaciones previas que han explorado los beneficios de los prebióticos y su aplicación en la industria alimentaria. Además, se han considerado estudios que han evaluado la adición de FOS del yacón en otros productos horneados, lo que proporciona un marco teórico sólido para esta investigación.

La investigación, en tanto, tiene como objetivo general determinar el efecto de la adición de FOS del yacón en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, donde se utilizaron las instalaciones de la Unidad de Producción y Panificadora Industrial, así como los Laboratorios de Alimentos, Química Orgánica y Fisicoquímica.

Insumos, materiales, equipos y reactivos

Se utilizó harina como materia prima, junto con azúcar, levadura seca, manteca, mejorador, sal, agua y jarabe de yacón. Los materiales empleados fueron de laboratorio, lo que permitió realizar mediciones más precisas.

Los equipos principales fueron la balanza analítica BH-300 EXCELL, cocina eléctrica, baño de agua termostatzado THELCO, amasadora-sobadora a espiral NOVA, divisora-cortadora manual NOVA, horno NOVA, equipo de titulación, termómetro, cronómetro, estufa PRECISION Thelco Model 18, estereoscopio SMZ-168 SERIES y espectrofotómetro AKUSPEC-D Model 450.

Los reactivos utilizados fueron adquiridos de diversas marcas como Merck y Sigma e incluyeron sustancias como glucosa, hexacianoferrato (II) de potasio trihidratado, acetato de cinc dihidratado, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, fenoltaleína, etanol 96%, ácido 3,5-Dinitrosalicílico, sal de Rochelle, agua destilada, soluciones estándar de glucosa (1g/L), glucosa oxidasa (1000U/ml) y peroxidasa (120 U/ml), solución de 4-aminofenazona (25 mmol/L) y fenol (55 ml/L).

Elaboración del pan

En la elaboración se siguió el protocolo de Mesas y Alegre (2002), con algunas ligeras modificaciones. Se pesó los ingredientes sólidos en balanza analítica y se midieron los líquidos utilizando recipientes con escalas de medida precisas. Se utilizó la siguiente formulación: azúcar: 2.5, 2.0, 1.0 y 0%, levadura seca: 2%, manteca: 5%, mejorador: 0.6%, sal: 2%, agua: 50% y jarabe de yacón: 0; 0.5; 1.5 y 2.5%. Es importante destacar que durante la adición de diferentes cantidades de jarabe de yacón se ajustó la cantidad de azúcar en proporción inversa.

El amasado se realizó a baja velocidad durante 5-7 minutos, permitiendo correcciones adicionales de agua o harina para lograr la consistencia deseada. Posteriormente, se procedió al sobado a alta velocidad durante aproximadamente 3 minutos, intensificando la mezcla.

La masa obtenida se dividió en piezas homogéneas de 50 g. Luego, se dio forma de bola y se marcó manualmente el centro de los bollos. La fase de reposo o primera fermentación tardó 15-20 minutos, durante la cual la masa descansó para recuperarse de la desgasificación sufrida durante la división y el boleado. La segunda fermentación, que implicó la fermentación alcohólica, tardó 40-45 minutos

aproximadamente. Posteriormente, los panes fueron cocidos a una temperatura entre 160-180°C durante 15 minutos, y finalmente se enfriaron a temperatura ambiente durante una hora.

Análisis fisicoquímico del pan

La densidad aparente del pan se determinó utilizando un volumenómetro por desplazamiento de semillas, según el método adaptado del A.A.C.C. (1986), citado en Bolhuis et al. (2024).

La forma y el número de celdas por 0.5 cm² se determinaron mediante el método del microscopio electrónico de barrido adaptado por De La Llave (2004). Se secaron las piezas de pan y se cortaron longitudinalmente, obteniendo muestras para analizar. Estas muestras se colocaron en un estereoscopio equipado con una lámina plástica graduada con cuadrículas de 0,5 cm² para contar las celdas de tamaño mediano, fotografiando las muestras para su posterior análisis.

En la cuantificación de los FOS se siguió el protocolo detallado de Guevara y Vallejo (2015). Primero, se prepararon las muestras colocando 10 g de miga de pan molido en un vaso precipitado junto con aproximadamente 150 ml de agua destilada, luego de agitar la mezcla, se añadieron 5 ml de una solución de 0.15% (p/v) de cianoferrato (II) de potasio en agua destilada y 5 ml de otra de 0.23%, seguido de otra agitación para verterlo en una fiola de 250 ml, se completó con agua destilada hasta el enrase y finalmente se filtró. Luego, se cuantificó el total de glucosa y fructosa en estado libre como azúcares reductores directos (ARD) utilizando el método de Miller (1959). Posteriormente, se determinó la glucosa utilizando el método de Trinder (1969), y asumiendo que los ARD en las muestras están compuestos por glucosa y fructosa, la fructosa se determinó indirectamente como la diferencia entre los ARD y la glucosa.

La hidrólisis se realizó con ácido clorhídrico 0.0363 M para cuantificarlos como azúcares reductores y estimar la cantidad de glucosa y fructosa que integran los FOS. Se aplicaron consideraciones adicionales basadas en el trabajo de Vargas (2009), citado en Simanca-Sotelo et al. (2021) para determinar el contenido de FOS en las muestras, así como la cantidad de glucosa y fructosa que integran dichos polímeros.

La determinación de glucosa se realizó mediante el método Trinder (1969), donde la glucosa se transforma en una quinona de coloración rosa. Los azúcares reductores con el método del DNS (Miller, 1959), basado en la reacción del ácido 3,5 dinitrosalicílico en medio alcalino con el grupo reductor de la glucosa. Se preparó una solución estándar con una concentración conocida de analito para cuantificar los azúcares y se utilizó la ecuación de la recta para expresar matemáticamente la relación entre la concentración del analito y la absorbancia observada.

Además, se determinó el grado de polimerización promedio de los fructooligosacáridos asumiendo que son polímeros de fructosa que contienen una molécula de glucosa en el extremo terminal de la molécula,

después de la hidrólisis ácida. Finalmente, se calculó el peso molecular promedio de los FOS una vez conocido el grado de polimerización, partiendo del peso molecular de cada uno de los residuos de glucosa o fructosa que integran el polímero, que es de 162.

Evaluación sensorial del pan

En la evaluación sensorial del pan, se aplicó la metodología basada en la prueba de Ordenamiento para Análisis Discriminativo, propuesta por Tompkins y Pratt, citados en Ureña et al. (1999). Esta técnica empleó una escala de valores enteros (1, 2, 3 y 4) para asignar posiciones, donde 1 representaba la posición más aceptable y 4 la menos aceptable. Los datos resultantes se sometieron a análisis de varianza tras su transformación mediante el método de Fisher y Yates (1949).

El proceso de entrenamiento y selección de jueces se dividió en varias etapas. En la etapa I, se preseleccionaron candidatos considerando su interés, disponibilidad de tiempo, salud y conocimientos previos. En la etapa II, se realizó una capacitación teórico-práctica sobre las características generales del pan, y en la etapa III se aplicaron pruebas sensoriales con muestras de pan francés de diferentes panaderías. La etapa IV y las subsiguientes consistieron en capacitaciones específicas sobre color de costra, sabor, apariencia de miga y textura de pan francés.

La selección final de jueces se basó en su desempeño individual, evaluando la capacidad de discriminación y coherencia en sus respuestas. Se llevaron a cabo 10 ensayos (corridas) para cada atributo, y los resultados fueron analizados de manera secuencial, retirando a aquellos jueces cuyo rendimiento estuviera fuera de la zona de aceptación establecida.

La evaluación sensorial se desarrolló en un área física específica, siguiendo las recomendaciones actualizadas de Marques et al. (2024) y Simanca-Sotelo et al. (2021). Se utilizaron cabinas para emitir juicios individuales, y en casos de "mesa redonda", se garantizó la independencia entre jueces mediante separadores portátiles. La iluminación se cuidó para evitar sombras, y se crearon ambientes tranquilos sin distracciones.

En la evaluación sensorial definitiva del pan francés adicionando jarabe de yacón, se presentaron muestras codificadas con diferentes concentraciones de jarabe (0%, 0.5%, 1.5% y 2.5%). Cada juez realizó tres ensayos por cada atributo, utilizando formatos específicos. Este proceso permitió obtener datos precisos sobre la aceptabilidad del producto objetivo en relación con la adición de jarabe de yacón.

Diseño y análisis estadístico

Se aplicó un diseño experimental de 1 factor en bloques (repeticiones) completamente al azar para adecuar y analizar los datos obtenidos. El número de bloques empleado en el estudio varió según la variable dependiente bajo análisis, siendo esta flexibilidad una característica del diseño experimental. La

variable independiente es la adición de jarabe de Yacón en cuatro concentraciones (0%, 0.5%, 1.5% y 2.5%). Las variables dependientes se dividieron en dos categorías: una de naturaleza fisicoquímica (densidad aparente, forma y número de células por campo, contenido de FOS) y otra de naturaleza sensorial (color de costra, sabor, textura: suavidad de miga, apariencia de miga). Para el análisis estadístico de los datos, se implementó el análisis de varianza (ANOVA) en conformidad con el diseño experimental de un factor en bloques completamente al azar. Los niveles de estudio de la variable independiente fueron considerados como tratamientos en este diseño, mientras que los bloques representaron las repeticiones realizadas al analizar cada variable dependiente.

Para el contenido de FOS, se ejecutaron tres repeticiones, consideradas como bloques, para cada tratamiento. En cuanto a la densidad aparente y el número de celdas de miga por 0,5 cm², se llevaron a cabo cinco repeticiones para cada tratamiento. Para las características sensoriales, cada juez fue considerado como un bloque, y dado que el panel sensorial constaba de siete jueces, se utilizaron siete bloques para cada tratamiento.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímico

Los resultados del análisis fisicoquímico del pan francés revelan diferencias significativas en diferentes variables en relación con la concentración de jarabe de yacón. En primer lugar, la densidad aparente del pan mostró variaciones notables entre los diferentes tratamientos. En la Figura 1 se observa que a medida que aumentaba la concentración de jarabe de yacón, la densidad aparente tendía a disminuir; no obstante, se percibió un incremento en el tratamiento con 2.5%.

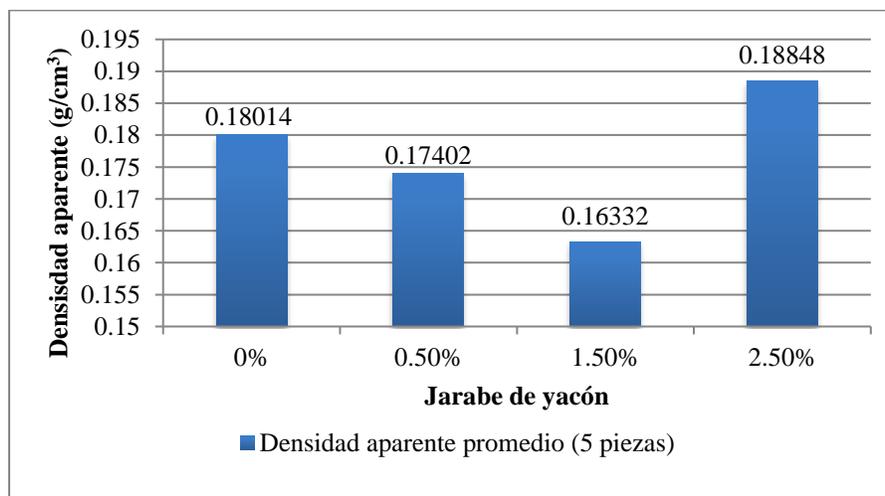


Figura 1. Comportamiento de la densidad aparente (g/cm³) en piezas de pan.

La Figura 2 agrupa imágenes digitales de las observaciones de miga de pan con cuadrícula, se percibe diferencias entre tratamientos respecto a la forma y número de celdas de miga por 0.5 cm². En la Figura 3, los resultados indican que la concentración de jarabe de yacón afectó significativamente tanto la forma como el número de celdas de miga por unidad de área, con tendencias hacia una mayor cantidad de celdas a medida que aumentaba la concentración de jarabe de yacón.

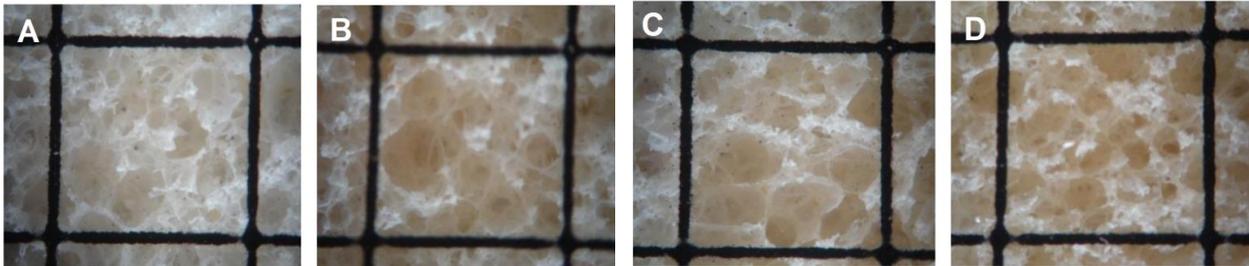


Figura 2. Imágenes digitales de las observaciones de miga de pan con cuadrícula. Concentraciones de jarabe de yacón: A = 0%, B = 0.5%, C = 1.5% y D = 2.5 %.

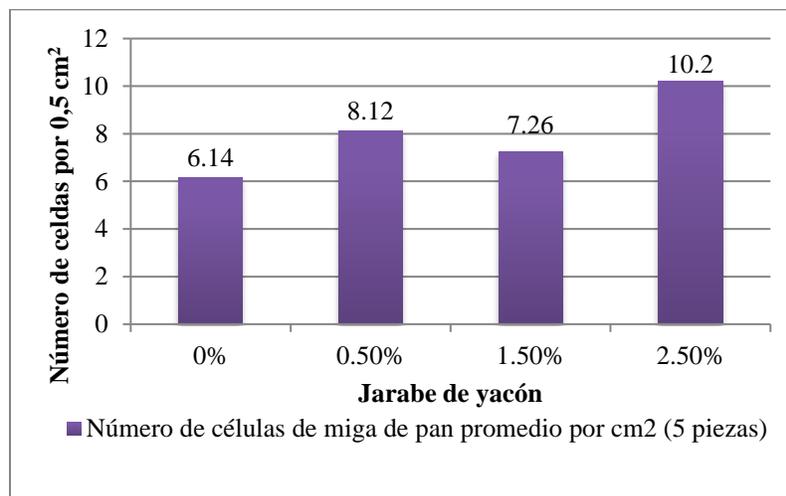


Figura 3. Comportamiento de número de celdas en la miga de pan por 0,5 cm².

En relación con los azúcares reductores, glucosa y fructosa antes y después de la hidrólisis ácida, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. La Figura 4 muestra que antes de la hidrólisis ácida, los valores variaron considerablemente según la concentración de jarabe de yacón. Sin embargo, en la Figura 5 se observa que después de la hidrólisis ácida, estos valores experimentaron cambios, aunque no siempre en la dirección esperada, lo que sugiere una posible interacción entre la concentración de jarabe de yacón y el proceso de hidrólisis ácida en la composición de azúcares del pan.

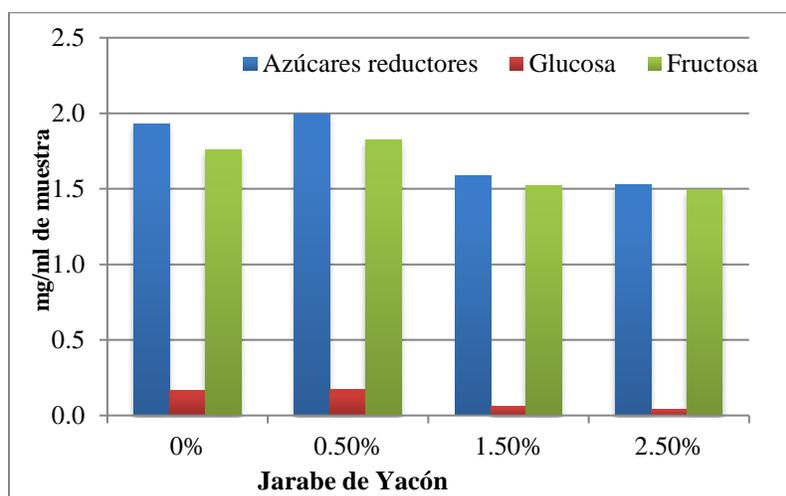


Figura 4. Comportamiento de azúcares reductores, glucosa y fructosa antes de la hidrólisis ácida

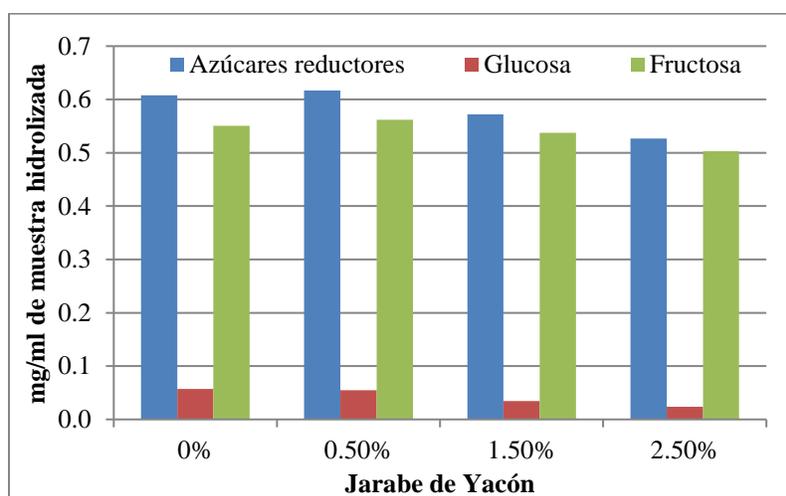


Figura 5. Comportamiento de azúcares reductores, glucosa y fructosa después de la hidrólisis ácida.

Cabe destacar que no se pudo determinar el contenido de fructooligosacáridos debido a discrepancias entre los resultados esperados y los obtenidos después de la hidrólisis ácida, según lo descrito en la literatura citada. Este aspecto requerirá una discusión adicional para comprender las posibles razones detrás de esta discrepancia.

Análisis sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial del pan francés revelan variaciones significativas en los atributos evaluados en función de la concentración de jarabe de yacón. En términos de color de costra, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. La Tabla 1 muestra que la prueba de Tukey indicó que el pan con 2.5% de jarabe de yacón se diferenciaba significativamente de los demás, presentando una puntuación promedio más baja en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 1. Color de costra del pan considerando la concentración de jarabe de yacón

Prueba	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
			1	2	3	4
HSD de Tukey	2.5% de jarabe de yacón	7	-1.3000			
	1.5% de jarabe de yacón	7		-0.3000		
	0.5% de jarabe de yacón	7			0.3000	
	0% de jarabe de yacón	7				1.3000
	Sig.			1.000	1.000	1.000

En cuanto a la apariencia de la miga, se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos. La Tabla 2 indica que el pan con 0.5% fue evaluado positivamente, obteniendo una puntuación promedio más alta en comparación con otros tratamientos. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre el pan sin jarabe de yacón y el pan con 1.5%.

Tabla 2. Apariencia de miga del pan considerando la concentración de jarabe de yacón

Prueba	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey	0.5% de jarabe de yacón	7	0.5857	
	1.5% de jarabe de yacón	7	0.4714	
	0% de jarabe de yacón	7	0.2429	
	2.5% de jarabe de yacón	7		-1.3
	Sig.			0.714

Respecto a la textura, específicamente la suavidad de la miga, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. La Tabla 3 precisa que todos los tratamientos presentaron puntuaciones similares en este atributo sensorial.

Tabla 3. Textura: Suavidad de miga del pan considerando la concentración de jarabe de yacón

Prueba	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD de Tukey	0.5% de jarabe de yacón	7	1.0143	
	0% de jarabe de yacón	7	0.5857	
	1.5% de jarabe de yacón	7		-0.5857
	2.5% de jarabe de yacón	7		-1.0143
	Sig.			0.375

En cuanto al sabor del pan, se identificaron variaciones significativas entre los tratamientos. La Tabla 4 muestra que la prueba de Tukey indicó que el pan con 0.5% fue el preferido en términos de sabor, mientras que el pan con 2.5% se destacó por tener una puntuación significativamente más baja en comparación con otros tratamientos.

Tabla 4. Sabor del pan considerando la concentración de jarabe de yacón

Prueba	Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey	0.5% de jarabe de yacón	7	0.8714		
	0% de jarabe de yacón	7	0.5571	0.5571	
	1.5% de jarabe de yacón	7		-0.1286	
	2.5% de jarabe de yacón	7			-1.3000
	Sig.			0.615	0.059

DISCUSIONES

La investigación se centró en evaluar el impacto de la adición de distintas cantidades de fructooligosacáridos provenientes del yacón en las características fisicoquímicas y sensoriales del pan. Los análisis fisicoquímicos revelaron que los tratamientos con 0% y 0.5% de jarabe de yacón presentaron mayores cantidades de azúcares reductores antes de la hidrólisis ácida, sugiriendo que la enzima invertasa pudo haber hidrolizado la sacarosa en lugar de los FOS en tratamientos con mayor cantidad de jarabe de yacón. Este fenómeno coincide con los resultados obtenidos por Simanca-Sotelo et al. (2021), quienes también encontraron una correlación entre la presencia de invertasa y la hidrólisis de sacarosa en sus estudios sobre la fermentación de productos horneados donde la presencia de FOS puede influir en la actividad enzimática de invertasa, lo que podría explicar las diferencias observadas en los perfiles de azúcares entre los tratamientos con y sin jarabe de yacón.

Los resultados que muestran valores menores de glucosa después de la hidrólisis ácida en los tratamientos con 1.5% y 2.5% sugieren una preferencia de la levadura por metabolizar la glucosa en lugar de la fructosa. Este hallazgo podría estar relacionado con el proceso de fermentación, donde la glucosa, al ser un azúcar más simple, podría ser utilizada más fácilmente por la levadura como fuente de energía. Esta preferencia por la glucosa podría explicarse en parte por la composición del jarabe de yacón y su concentración de FOS. Además, un estudio sobre la optimización del proceso de extracción de FOS del yacón de Guevara et al. (2015), sugieren que el contenido de este puede variar según el método de extracción y las condiciones de procesamiento, lo que podría influir en la disponibilidad de estos compuestos para la levadura durante la fermentación del pan. Sin embargo, a pesar de la preferencia aparente de la levadura por la glucosa, los resultados aún sugieren que el tratamiento con 1.5% es el más prometedor en términos de efectos sobre la composición de azúcares en el pan.

La fructosa libre también fue evaluada, y a pesar de que los tratamientos con menor jarabe de yacón presentaron mayores niveles de sacarosa, los tratamientos con 1.5% y 2.5% mostraron valores aceptables de fructosa. Este resultado respalda la idea de que el jarabe de yacón utilizado en el estudio podría

contener una alta concentración de FOS, los cuales podrían contribuir a los niveles de fructosa en el pan fermentado. Sin embargo, es importante considerar que la concentración de FOS puede verse influenciada por el proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón. Guevara et al. (2015) sugieren que sobre la optimización de este proceso, diferentes métodos de extracción y condiciones de procesamiento pueden afectar la cantidad y calidad de los FOS obtenidos. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta estas variaciones en la concentración al interpretar los resultados de la evaluación de fructosa libre en los tratamientos.

En cuanto a la densidad aparente del pan, los tratamientos con 0.5% y 1.5% demostraron el mejor comportamiento, destacando la importancia de la fermentación para lograr un buen volumen de pan. Sin embargo, los resultados deben interpretarse con precaución, ya que otros factores podrían influir en la densidad del pan, como la formulación de la masa y el proceso de cocción, según la sugerencia de Mesas y Alegre (2002). El análisis de microscopía reveló una relación inversamente proporcional entre el número de celdas y su tamaño, con el tratamiento de 1.5% mostrando una estructura celular más equilibrada. Aun así, la relación entre el número y tamaño de las celdas puede ser afectada por diversos factores, como la actividad de la levadura y la consistencia de la masa (Morais et al., 2014).

La evaluación sensorial se centró en atributos clave como apariencia, textura, sabor y color de costra. Aunque el tratamiento con 2.5% tuvo el peor desempeño en varios aspectos, los tratamientos con 0.5%, 1.5%, y 0% no mostraron diferencias significativas en varios atributos. En otras palabras, la concentración no es proporcional a la aceptación; esta idea concuerda con Machuca (2022) que adicionó jarabe de yacón para mejorar las propiedades organolépticas de yogurt de zanahoria y obtuvo resultados similares. Sin embargo, al considerar la relación entre los análisis fisicoquímicos y las características sensoriales, el tratamiento con 1.5% se destaca como el más prometedor.

CONCLUSIONES

El mejor número de celdas por área se observó en los panes con tratamientos de 1.5% y 0.5% de jarabe de yacón, con valores de 7.26 y 8.12 respectivamente. Además, las mejores puntuaciones en apariencia de miga se encontraron en los panes con estos mismos tratamientos, con valores de 0.4714 y 0.5857 respectivamente.

Las mejores densidades aparentes se obtuvieron en los niveles de 1.5%, 0.5% y 0%, con valores de 0.1633 g/cm³, 0.1740 g/cm³ y 0.1801 g/cm³ respectivamente. Se observó una mejora en la densidad aparente del pan a medida que se aumentaba la concentración, lo que sugiere una relación positiva entre la adición de jarabe y la densidad aparente del pan.

En cuanto a la evaluación sensorial, los tratamientos con 0% y 0.5% obtuvieron las puntuaciones más altas para el color de costra, la textura (suavidad de miga) y el sabor del pan, según el panel sensorial.

Aunque no fue posible determinar el contenido de los FOS en el pan mediante hidrólisis ácida, se sugiere que los panes con un tratamiento de 1.5% podrían mantenerlos en el producto terminado, lo que conservaría su naturaleza funcional y su efecto prebiótico.

Adicionalmente, a modo de recomendación, la realización de la cuantificación de fructooligosacáridos debe utilizar métodos más específicos como la hidrólisis enzimática, además es necesaria la exploración del efecto de la adición de FOS en productos horneados con temperaturas de procesamiento relativamente bajas donde no se perjudiquen las aquellas propiedades termolábiles tanto de la matriz como del jarabe de yacón. También se sugiere estudiar el efecto de los FOS en las características reológicas de las masas de productos horneados, de esta manera se pueden interpretar algunas variables que puedan tener dependencia con algún tratamiento o procedimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolhuis, D. P., Wouters, A., y Heuven, L. A. J. (2024). Bread buns or slices? variations of bread shape modifies ad libitum intake of bread and toppings. *Food Quality and Preference*, 115, 105127. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2024.105127>
- Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., y Pedreschi, R. (2012). Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. y Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. *Food Chemistry*, 135(3), 1592–1599. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.05.088>
- De La Llave, A. J. (2004). *Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación*. [Tesis de licenciatura] Universidad de las Américas Puebla.
- Guevara Apraez, C. S., y Vallejo Castillo, E. J. (2015). Identificación de fructooligosacáridos e inulinas en residuos de hojas de fique -*Furcraea macrophylla* Baker. *Acta Agronómica*, 64(4). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.41602>
- Guevara, I., a-, M., Pallardel, B., a-, I., Noborikawa, K., a-, M., y Gutierrez, C. (2015). Optimización del proceso de extracción de los fructooligosacáridos de yacón (*Smallanthus Sonchifolius*). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 81(3), 263–272. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-

634X2015000300008yInq=esynrm=isoytInq=es

- Liu, X., Su, S., Yao, J., Zhang, X., Wu, Z., Jia, L., Liu, L., Hou, Y., Faragb, M. A., y Liu, L. (2024). Research advance about plant polysaccharide prebiotics, benefit for probiotics on gut homeostasis modulation. *Food Bioscience*, 103831. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.103831>
- Machuca, L. M. (2022). Determinación de la concentración de jarabe de yacón (*smallanthus sonchifolius*) aplicado como edulcorante en el yogurt de zanahoria (*Daucus carota*) para su aceptabilidad organoléptica. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4687>
- Marques, C., Toazza, C. E. B., Bona, E., Mitterer-Daltoé, M. L., y Masson, M. L. (2024). Sensory profile estimation of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice acidified with lactobionic acid: Combination of flash profile, E-nose and sensometrics. *Food Chemistry Advances*, 4, 100591. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100591>
- Mesas, J. M., y Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(5), 307–313. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72430508>
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. https://doi.org/10.1021/AC60147A030/ASSET/AC60147A030.FP.PNG_V03
- Morais, E. C., Cruz, A. G., Faria, J. A. F., y Bolini, H. M. A. (2014). Prebiotic gluten-free bread: Sensory profiling and drivers of liking. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 248–254. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.07.014>
- Oh, H. Y., Lee, T. H., Lee, C. H., Lee, D. Y., Sohn, M. Y., Kwon, R. W., Kim, J. G., y Kim, H. S. (2023). Effects of by-products from producing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice as feed additive on growth performance, digestive enzyme activity, antioxidant status, related gene expression, and disease resistance against *Streptococcus iniae* in juvenile black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture*, 569, 739383. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.739383>
- Peng, F., Huang, H., Lin, J. X., Yang, T., Xie, M., Xiong, T., y Peng, Z. (2022). Development of yacon syrup fermented by *Lactiplantibacillus plantarum* NCU001043: Metabolite profiling, antioxidant and glycosidase inhibition activity. *LWT*, 169, 114051. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.114051>
- Sales, S. da S., Dionísio, A. P., Adriano, L. S., Melo, B. R. C. de, Abreu, F. A. P. de, Sampaio, H. A. de

C., Silva, I. D. C. G. da, y Carioca, A. A. F. (2023). Previous gut microbiota has an effect on postprandial insulin response after intervention with yacon syrup as a source of fructooligosaccharides: a randomized, crossover, double-blind clinical trial. *Nutrition*, *109*, 111948. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2022.111948>

Silva, M. de F. G. da, Dionísio, A. P., Abreu, F. A. P. de, Brito, E. S. de, Wurlitzer, N. J., Silva, L. M. A. e., Ribeiro, P. R. V., Rodrigues, S., Taniguchi, C. A. K., y Pontes, D. F. (2018). Evaluation of nutritional and chemical composition of yacon syrup using ¹H NMR and UPLC-ESI-Q-TOF-MSE. *Food Chemistry*, *245*, 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.11.092>

Simanca-Sotelo, M., De Paula, C., Domínguez-Anaya, Y., Pastrana-Puche, Y., y Álvarez-Badel, B. (2021). Physico-chemical and sensory characterization of sweet biscuits made with Yacon flour (*Smallanthus sonchifolius*). *NFS Journal*, *22*, 14–19. <https://doi.org/10.1016/J.NFS.2020.12.001>

Trinder, P. (1969). Determination of Glucose in Blood Using Glucose Oxidase with an Alternative Oxygen Acceptor. *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*, *6*(1), 24–27. <https://doi.org/10.1177/000456326900600108>

Ureña, M. O., Arrigo, M. D., y Girón, O. (1999). *Evaluación sensorial de los alimentos : aplicación didáctica*. 1–197.