

# OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN

## OBTAINING CITRUS PECTIN FROM LEMON ALBEDO FOR THE FORTIFICATION OF WHEAT FLOUR USED IN BAKERY

Pablo Pazmiño<sup>1</sup>, Yesenia Villacrés<sup>2</sup>, Valeria Astudillo<sup>3</sup>, Gabriela Rodríguez<sup>4</sup>

{pgabpp@gmail.com<sup>1</sup>, yesmarvillacres@gmail.com<sup>2</sup>, valestefy@hotmail.es<sup>3</sup>, gabyledosangeles@hotmail.es<sup>4</sup>}

Fecha de recepción: 23/03/2026 / Fecha de aceptación: 27/03/2026 / Fecha de publicación: 31/03/2026

**RESUMEN:** Cada año, miles de toneladas de cáscara de limón terminan en el basurero. Mientras tanto, la industria de panificación busca cómo añadir fibra a sus productos sin que el consumidor lo note. Esta investigación parte justo de esa coincidencia. Se evaluó la viabilidad de incorporar pectina cítrica extraída del albedo de Citrus limón mediante hidrólisis ácida (pH 1,5–3; 70–80 °C; 60–80 min) a harina de trigo para panificación. El rendimiento de extracción fue del 12,3%, un valor que coincide con lo que la literatura reporta para este método. A partir de esa pectina, se elaboraron cupcakes con cuatro concentraciones: 5%, 10%, 15% y 20%. La evaluación sensorial la realizaron 19 estudiantes no entrenados usando una escala hedónica de nueve puntos. Los datos se procesaron con ANOVA y prueba LSD. Además, se hizo análisis bromatológico (normas INEN) y microbiológico (laboratorio acreditado ISO 17025, conforme a NTE INEN 2051). La formulación con 5% de pectina —M1— fue la mejor valorada. Puntuaciones superiores a 7,8 en todos los atributos. El análisis bromatológico mostró más fibra (+1,09%), más proteína (+0,29%), más ceniza (+0,14%), menos grasa (-0,49%) y menos humedad (-1,64%). Con 2,68 g de fibra por 100 g, M1 se aproxima al umbral del Codex Alimentarius para ser declarada «fuente de fibra». Los recuentos microbiológicos cumplieron la norma, y encima, la formulación con pectina tuvo menos mohos y levaduras que el control un -29,2% menos. Se concluye que incorporar pectina de cáscara de limón al 5% funciona. Mejora el perfil nutricional, no arruina el sabor ni la textura, y transforma un desecho agroindustrial en un ingrediente funcional con potencial real para la panificación ecuatoriana.

**Palabras clave:** *pectina cítrica, fortificación, harina de trigo, fibra dietética, panificación, subproductos cítricos*

<sup>1</sup>Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-3575-4568>; +593 98 713 6924

<sup>2</sup>Investigador Independiente, Riobamba – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-2275-0174>

<sup>3</sup>Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2791-8896>; +593 99 651 2967

<sup>4</sup>Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-8123-5412>; +593 95 889 0197

**ABSTRACT:** Every year, thousands of tons of lemon peel end up in the trash. Meanwhile, the bakery industry keeps looking for ways to add fiber to its products without the consumer ever noticing. This study starts right at that intersection. The feasibility of incorporating citrus pectin extracted from Citrus limon albedo by acid hydrolysis (pH 1.5–3; 70–80 °C; 60–80 min) into wheat flour for baking was evaluated. Extraction yield was 12.3%, consistent with what the literature reports for this method. From that pectin, cupcakes were prepared at four concentrations: 5%, 10%, 15%, and 20%. Sensory evaluation was carried out by 19 untrained students using a nine-point hedonic scale. Data were analyzed with ANOVA and LSD test. Bromatological analysis followed INEN standards, and microbiological testing was performed by an ISO 17025-accredited laboratory in accordance with NTE INEN 2051. The 5% pectin formulation —M1— ranked highest. Scores above 7.8 across all attributes. Bromatological analysis showed more fiber (+1.09%), more protein (+0.29%), more ash (+0.14%), less fat (–0.49%), and less moisture (–1.64%). At 2.68 g of fiber per 100 g, M1 approaches the Codex Alimentarius threshold for "fiber source" labeling. Microbiological counts met regulatory limits, and on top of that, the fortified formulation had fewer molds and yeasts than the control — 29.2% fewer. It is concluded that incorporating adding 5% lemon peel pectin works. It improves the nutritional profile, does not ruin the flavor or texture, and turns an agroindustrial waste into a functional ingredient with real potential for Ecuador's bakery industry.

**Keywords:** *citrus pectin, fortification, wheat flour, dietary fiber, bakery, citrus by-products*

## INTRODUCCIÓN

La fortificación de los alimentos es una estrategia prioritaria impulsada por la Organización Mundial de la Salud para tratar las deficiencias nutricionales y optimizar la calidad alimentaria en todo el mundo (1). En el panorama actual, donde los procesos tecnológicos y la naturaleza propia de algunos alimentos dan lugar a productos con contenidos subóptimos de nutrientes que son esenciales para un adecuado funcionamiento fisiológico, esta práctica es especialmente significativa.

En 2024, la industria alimentaria mundial procesó 1,052 millones de toneladas de alimentos y produjo una cantidad significativa de subproductos que poseen compuestos bioactivos y nutrientes con el potencial para ser utilizados nuevamente como ingredientes funcionales (2). En Ecuador, la producción industrial de productos cítricos es de 42,000 toneladas al año, siendo el limón responsable de 6,622 toneladas (3). El flavedo y el albedo son los subproductos más importantes producidos, que equivalen entre un 45% y un 60% del peso total de la fruta (4).

El albedo, definido como la capa blanca esponjosa situada entre la epidermis del cítrico y los segmentos pulposos, constituye una fuente rica en pectina, cuya concentración varía según el estado de madurez del fruto (5). La pectina, clasificada como fibra dietética soluble, está compuesta principalmente por polisacáridos formados por unidades de ácido D-galacturónico

unidos mediante enlaces  $\alpha$  (1-4), confiriendo propiedades tecnológicas y funcionales de considerable valor (6).

La fibra dietética representa un componente nutricional esencial caracterizado por su resistencia a la digestión en el intestino delgado humano, desempeñando funciones cruciales en la salud digestiva y metabólica (7). Las pectinas cítricas han demostrado propiedades prebióticas, capacidad de reducción de colesterol sérico y regulación de la glucemia, además de sus aplicaciones tecnológicas como agentes gelificantes, estabilizantes y con alta capacidad de retención de agua (8,9).

La innovación en alimentos funcionales es un reto mundial que va más allá de la simple provisión de nutrientes, enfocándose en la creación de productos que ayuden a prevenir y reducir activamente las enfermedades crónicas no transmisibles (10). En esta situación, el empleo de subproductos agroindustriales para enriquecer alimentos fundamentales, como la harina de trigo, es una estrategia que ofrece dos beneficios: por un lado, la calidad nutricional de productos de consumo masivo se ve mejorada; por otro lado, se favorece la sostenibilidad de la cadena productiva (11).

El Reglamento de Declaraciones Nutricionales y de Propiedades Saludables de la Unión Europea establece que un alimento puede ser etiquetado como “fuente de fibra” cuando aporta más de 3g de fibra por cada 100g de producto (12). Este criterio normativo proporciona un marco regulatorio claro para el desarrollo de productos fortificados con fibra dietética.

La harina de trigo, siendo uno de los ingredientes más utilizados en panificación a nivel mundial, representa un vehículo ideal para la fortificación con fibra cítrica debido a su amplia aceptación consumer y versatilidad tecnológica (13). Los productos de panificación, incluidos cupcakes, muffins y panes, constituyen alimentos básicos en la dieta de múltiples poblaciones, lo que amplifica el impacto nutricional potencial de su fortificación (14).

Investigaciones previas han demostrado la viabilidad técnica de fortificar productos de panificación con diversos tipos de fibra, observándose mejoras significativas en el perfil nutricional sin comprometer gravemente las características sensoriales cuando las concentraciones se mantienen dentro de rangos adecuados (15,16). Sin embargo, existe un vacío de conocimiento específico respecto a la utilización de pectina cítrica extraída del albedo de limón para estos propósitos.

La metodología de hidrólisis ácida para la extracción de pectina ha demostrado eficiencia superior comparada con otros métodos, permitiendo la obtención de pectina de alta calidad con rendimientos aceptables y propiedades tecnológicas óptimas (17). Este proceso, además de ser económicamente viable, permite la valorización de subproductos que tradicionalmente se consideran residuos, contribuyendo a la economía circular en la industria alimentaria.

La hipótesis de que la pectina cítrica derivada del albedo de limón es apta para reforzar harina de trigo destinada a la panificación, aumentando notablemente su contenido de fibra dietética sin perjudicar las propiedades sensoriales del producto final, respalda este estudio. Los fines

específicos abarcan: perfeccionar el procedimiento de extracción de pectina del albedo de limón, establecer la concentración ideal de pectina para enriquecer harina, analizar la aceptabilidad sensorial de los productos enriquecidos y describir el perfil nutricional de los productos que se han desarrollado.

Esta investigación contribuye al conocimiento científico en el área de alimentos funcionales y aprovechamiento de subproductos agroindustriales, proporcionando evidencia experimental para el desarrollo de estrategias de fortificación innovadoras que respondan a las necesidades nutricionales actuales y a los desafíos de sostenibilidad de la industria alimentaria.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Tipo de investigación

El estudio fue de tipo experimental cuantitativo. La variable independiente fue la concentración de pectina cítrica (0%, 5%, 10%, 15% y 20%); las variables dependientes fueron las propiedades sensoriales y el perfil nutricional de los cupcakes resultantes. El diseño permitió establecer relaciones causa-efecto entre lo que se añadió y lo que se observó.

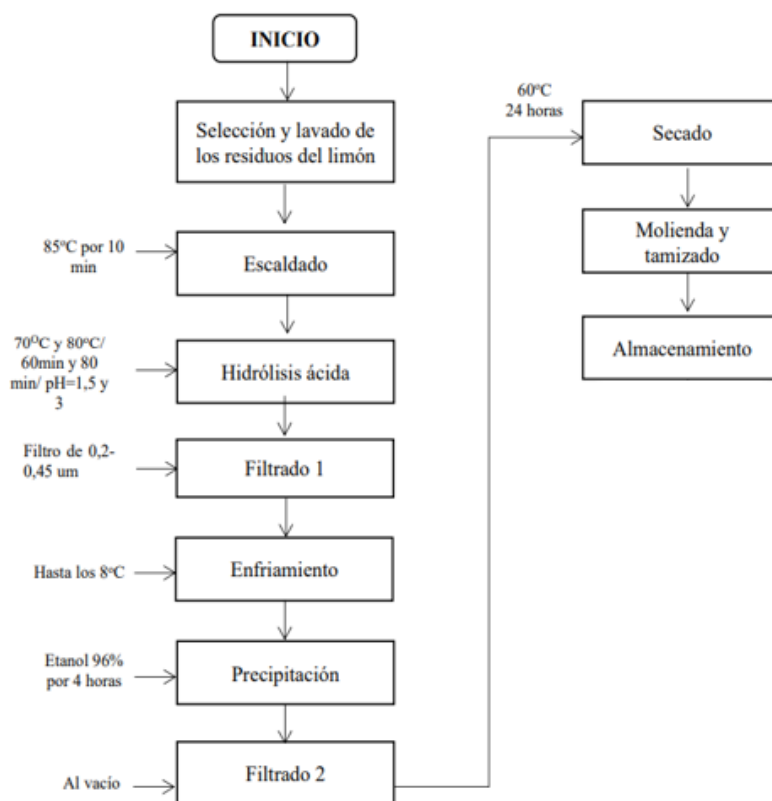


Figura 1. Diagrama de flujo para extraer la pectina del albedo de la cáscara de limón.

Fuente: (18)

### Obtención de la pectina del albedo

Se trabajó con limones (*Citrus limon*) procedentes de la provincia de Chimborazo. El proceso siguió la metodología de Soria Ilvay (18), con algunos ajustes para mejorar el rendimiento.

En síntesis: los residuos de limón se seleccionaron, se lavaron y se secaron a 60 °C durante 24 horas. Luego se molieron y tamizaron. La hidrólisis ácida se realizó entre 70 y 80 °C, durante 60 a 80 minutos, a pH de 1,5 a 3, usando ácido cítrico como agente hidrolizante. La mezcla se filtró con membranas de 0,2–0,45 µm y se enfrió hasta 8 °C. La precipitación se indujo con etanol al 96% durante cuatro horas. Finalmente, un segundo filtrado al vacío y el secado dieron el producto final. El proceso completo se resume en la Figura 1.

### Análisis sensorial

La evaluación sensorial se realizó siguiendo las metodologías establecidas por Ramírez Navas (19) y Espinoza et al. (20), empleando una escala hedónica de nueve puntos para evaluar los atributos de olor, sabor, color, textura y aceptabilidad general. El panel sensorial estuvo conformado por 19 evaluadores no entrenados, estudiantes de farmacología del Instituto Superior Tecnológico Riobamba, seleccionados aleatoriamente.

*Tabla 1. Escala hedónica para análisis sensorial.*

Puntaje	Categoría
1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta
6	Me gusta levemente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

*Fuente: (19, 20).*

*Nota: Valores para la evaluación de las diferentes escalas.*

## Elaboración de cupcakes

Se adaptó la formulación base de Silva Huilcapi et al. (21). Se prepararon cinco variantes: M0 sin pectina (control) y M1 a M4 con 5%, 10%, 15% y 20% de pectina respectivamente, siempre para 10 cupcakes con porción de 48,5 g. Las cantidades se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Formulación de cupcakes con y sin pectina cítrica.**

Ingredientes	M0	M1	M2	M3	M4
Harina de trigo (g)	120	114	108	102	100
Huevo (g)	50	50	50	50	50
Azúcar (g)	140	140	140	140	140
Mantequilla (g)	40	40	40	40	40
Leche (g)	120	120	120	120	120
Polvo de hornear (g)	15	15	15	15	15
Pectina cítrica (g)	0	6	12	18	24

**Fuente: (21).**

**Nota:** los valores se toman en cuenta en unidades de g para formular 10 cupcakes con un tamaño de porción de 48.5g.

## Análisis fisicoquímicos

Se determinaron los contenidos de proteína, grasa, fibra, cenizas totales y humedad aplicando las normas técnicas nacionales INEN correspondientes, como se especifica en la Tabla 3.

**Tabla 3. Determinación de parámetros fisicoquímicos.**

Parámetro	Método de análisis	Unidad
Proteína	INEN 1670	%
Grasa Total	INEN 523	%
Fibra	INEN 522	%

---

Ceniza	INEN 401	%
Humedad	INEN 1235	%

---

### **Análisis microbiológico**

Las muestras —M0 y M1— se analizaron en SAQMIC (Servicios de Análisis Químicos y Microbiológicos, Riobamba), laboratorio acreditado bajo ISO 17025. Se determinaron aerobios mesófilos totales, mohos y levaduras, coliformes totales y *Salmonella* spp., siguiendo NTE INEN 1529-5, 1529-10, 1529-7 y 1529-15 respectivamente. Las muestras viajaron refrigeradas ( $4 \pm 2$  °C) y se procesaron en menos de 24 horas.

Para mohos y levaduras: agar papa dextrosa (PDA),  $25 \pm 2$  °C, cinco días. Para aerobios mesófilos: agar cuenta estándar,  $35 \pm 2$  °C, 48 horas. Coliformes por NMP en caldo lactosado bilis verde brillante. *Salmonella* con preenriquecimiento en agua peptonada tamponada y enriquecimiento selectivo en caldos Rappaport-Vassiliadis y tetratonato.

### **Análisis estadístico**

Se realizó un análisis estadístico a través de una prueba discriminativa para la evaluación de la aceptabilidad del producto, que fue complementada con el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5% para determinar las distinciones entre los atributos de cada formulación. Para las comparaciones múltiples entre tratamientos, se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD). Los análisis se llevaron a cabo empleando el software estadístico R, utilizando un diseño de bloques completos aleatorizados en el que cada evaluador constituyó un bloque y las diversas concentraciones de pectina fueron los tratamientos.

### **Población y muestra**

Los participantes de la investigación fueron alumnos del tercer semestre de la carrera de Farmacología que cursaban en el Instituto Superior Tecnológico Riobamba. Para asegurar representatividad y reducir al mínimo los sesgos de selección, se eligió una muestra aleatoria simple de 19 evaluadores. Los criterios de inclusión incluyeron: no tener alergias alimentarias conocidas, tener entre 18 y 25 años de edad y estar disponibles para asistir a todas las sesiones de evaluación sensorial.

## **RESULTADOS**

### **Obtención de pectina**

El proceso de extracción de pectina del albedo de limón mediante hidrólisis ácida resultó en la obtención de un polvo de color ligeramente amarillento con características organolépticas apropiadas para su incorporación en formulaciones alimentarias. La Tabla 4 presenta las características principales de la pectina obtenida.

**Tabla 4. Parámetros de pectina cítrica.**

Parámetro	Resultado
Color	Ligeramente amarillo
Olor	Cítrico
Humedad	6.84% ± 0.12
Rendimiento de extracción	12.3% ± 0.8

El rendimiento de extracción obtenido (12.3%) se encuentra dentro del rango reportado en la literatura para pectinas cítricas extraídas mediante hidrólisis ácida, confirmando la eficiencia del método empleado. El contenido de humedad (6.84%) es adecuado para garantizar la estabilidad del producto durante el almacenamiento y su posterior utilización en formulaciones alimentarias.

### **Análisis sensorial**

Los resultados del análisis sensorial revelaron diferencias significativas entre las diferentes formulaciones evaluadas. El análisis de varianza (ANOVA) identificó diferencias estadísticamente significativas para color ( $p < 0.01$ ), olor ( $p < 0.05$ ), textura ( $p < 0.05$ ) y aceptabilidad general ( $p < 0.05$ ), mientras que el atributo sabor no presentó diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 5. Análisis ANOVA para atributos sensoriales.**

Atributo	GL	SC	CM	F-valor	Pr(>F)
Sabor					
Muestra	3	5.51	1.838	1.088	0.362
Factor (Estudiante)	18	27.18	1.51	0.894	0.588
Residual	54	91.24	1.69		
Color					

◆ OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN

Muestra	3	16.21	5.404	4.963	0.00409**
Factor (Estudiante)	18	7.95	0.442	0.406	0.98115
Residual	54	58.79	1.089		
Olor					
		18	6	3.661	0.0178*
Factor (Estudiante)	18	22.03	1.224	0.747	0.7485
Residual	54	88.5	1.639		
Aceptabilidad					
Muestra	3	9.83	3.276	3.983	0.0123*
Factor (Estudiante)	18	14	0.778	0.945	0.5316
Residual	54	44.42	0.823		

**Nota:** \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$

La aplicación del test LSD permitió identificar grupos homogéneos y diferencias específicas entre formulaciones. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6. Análisis LSD para cada atributo sensorial.**

Atributo	Muestra	Media	Grupos
Sabor	M1	7.42	a
	M4	7.68	a

◆ OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN

	M3	7.47	a
	M2	6.95	a
Color	M1	7.89	a
	M3	7.79	a
	M4	7.68	a
	M2	6.74	b
Olor	M1	8.21	a
	M3	7.37	b
	M2	7.21	b
	M4	6.89	b
Textura	M1	7.84	a
	M3	7.79	ab
	M2	6.95	ab
	M4	6.79	b
Aceptabilidad	M1	8.11	a
	M3	7.79	a
	M4	7.95	a

◆ OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN

M2

7.16

b

**Nota:** \*Medias con diferentes letras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

El análisis estadístico reveló que la formulación M1 (5% pectina) obtuvo consistentemente las puntuaciones más altas en todos los atributos evaluados, estableciéndose como la formulación óptima desde la perspectiva sensorial.

### Análisis de muestra ganadora

La evaluación integral de las puntuaciones sensoriales permitió establecer el ranking de preferencia entre formulaciones, como se presenta en la Tabla 7.

*Tabla 7. Ranking general de formulaciones.*

Muestra	Puntaje Total	Promedio General	Concentración	Posición
M1	39.47	7.89	5%	1º
M3	38.21	7.64	15%	2º
M4	37.00	7.40	20%	3º
M2	35.00	7.00	10%	4º

Los resultados confirman que la concentración del 5% de pectina (M1) proporciona el balance óptimo entre fortificación nutricional y aceptabilidad sensorial, seguida por la formulación al 15% (M3).

### Análisis bromatológico

La caracterización nutricional se realizó comparando la formulación control (sin pectina) con la formulación óptima identificada (M1 - 5% pectina). Los resultados del análisis proximal se presentan en la Tabla 8.

*Tabla 8. Comparación bromatológica entre formulaciones.*

Determinación	Unidad	Método	Resultado sin pectina	Resultado con 5% de pectina	Diferencia
Proteína	%	INEN 1670	2.41	2.70	+0.29

◆ **OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN**

Grasa	%	INEN 523	10.31	9.82	-0.49
Fibra	%	INEN 522	1.59	2.68	+1.09
Ceniza	%	INEN 401	1.65	1.79	+0.14
Humedad	%	INEN 1235	16.55	14.91	-1.64

El examen bromatológico mostró mejoras notables en el perfil nutricional de la formulación enriquecida. En el contenido de fibra dietética se vio el aumento más significativo, con un incremento de 1.09 puntos porcentuales, lo que equivale a un crecimiento del 68.6% en comparación con la formulación control. Este aumento posibilita que el producto fortificado sea categorizado como "fuente de fibra" conforme a las normativas internacionales.

Mientras que el contenido de cenizas creció en un 8.5% (0.14 puntos porcentuales), el de proteínas aumentó en un 12% (0.29 puntos porcentuales). Simultáneamente, se vio una disminución de la grasa (-4.8%) y la humedad (-9.9%), lo que podría deberse a que se cambió parcialmente la harina de trigo por pectina y a las propiedades higroscópicas diferentes de estos dos componentes.

### Características físicas

El examen físico de ambas formulaciones (control y fortificada al 5%) no reveló diferencias perceptibles en los atributos evaluados, manteniendo características similares de color dorado tostado, olor agradable dulzón, sabor ligeramente dulce y aspecto característico de cupcake regular homogéneo.

### Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico se presentan en la Tabla 9, donde se comparan los parámetros microbiológicos entre la formulación control (M0) y la formulación fortificada al 5% (M1).

**Tabla 9. Análisis microbiológico comparativo.**

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo*	Resultado M0	Resultado M1
Aerobios mesófilos	NTE INEN 1529-5	UFC/g	1x10 <sup>4</sup>	2.3x10 <sup>3</sup>	1.8x10 <sup>3</sup>
Mohos y levaduras	NTE INEN 1529-10	UFC/g	1x10 <sup>3</sup>	1.2x10 <sup>2</sup>	8.5x10 <sup>1</sup>
Coliformes totales	NTE INEN 1529-7	NMP/g	1x10 <sup>2</sup>	<10	<10

◆ OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE ALBEDO DE LIMÓN PARA LA FORTIFICACIÓN DE HARINA DE TRIGO USADA PARA PANIFICACIÓN

Salmonela spp.	NTE INEN 1529-15	-	Ausencia/25g	Ausencia	Ausencia
----------------	------------------	---	--------------	----------	----------

**Nota:** \*Límites establecidos según NTE INEN 2051 para productos de panificación

Los resultados microbiológicos indican que las formulaciones satisfacen los límites microbiológicos fijados por la normativa ecuatoriana para productos de panificación. Es importante señalar que la formulación fortificada (M1) tiene recuentos un poco más bajos de aerobios mesófilos, levaduras y mohos en comparación con la formulación control.

La cifra de aerobios mesófilos en M1 ( $1.8 \times 10^3$  UFC/g) fue 21.7% inferior a la de M0 ( $2.3 \times 10^3$  UFC/g), aunque los dos valores permanecieron por debajo del límite máximo permitido, que es  $1 \times 10^4$  UFC/g. Como afirman investigaciones anteriores (35), este resultado puede deberse a las propiedades antimicrobianas naturales de los compuestos fenólicos que se encuentran en la pectina cítrica.

El recuento de mohos y levaduras mostró una reducción aún más pronunciada en la formulación fortificada, con valores de  $8.5 \times 10^1$  UFC/g en M1 versus  $1.2 \times 10^2$  UFC/g en M0, representando una disminución del 29.2%. Esta reducción puede relacionarse con el menor contenido de humedad de la formulación fortificada (14.91% vs 16.55%), creando condiciones menos favorables para el crecimiento fúngico.

Los coliformes totales se mantuvieron por debajo del límite de detección (<10 NMP/g) en ambas formulaciones, indicando adecuadas condiciones higiénicas durante el procesamiento. La ausencia de Salmonella spp. en ambas muestras confirma la inocuidad microbiológica de los productos desarrollados.

### Estabilidad durante el almacenamiento

Se evaluó la estabilidad microbiológica de la formulación M1 durante un período de 7 días a temperatura ambiente ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) y humedad relativa del  $65 \pm 5\%$ . Los resultados se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10. Evolución microbiológica durante almacenamiento (M1).**

Día	Aerobios mesófilos (UFC/g)	Mohos y levaduras (UFC/g)
0	$1.8 \times 10^3$	$8.5 \times 10^1$
3	$2.1 \times 10^3$	$1.1 \times 10^2$
5	$2.8 \times 10^3$	$1.4 \times 10^2$

7

$3.2 \times 10^3$

$1.8 \times 10^2$

---

Los resultados indican que la formulación fortificada mantiene estabilidad microbiológica aceptable durante el período de almacenamiento evaluado, con incrementos graduales pero controlados en los recuentos microbianos, manteniéndose dentro de los límites normativos establecidos hasta el séptimo día de almacenamiento.

En la figura 1. Diagrama de flujo para extraer la pectina del albedo de la cáscara de limón se muestra el proceso completo desde la selección y lavado de residuos de limón, pasando por secado ( $60^{\circ}\text{C}$ , 24h), molienda y tamizado, hidrólisis ácida ( $70\text{-}80^{\circ}\text{C}$ , 60-80min,  $\text{pH}=1.5\text{-}3$ ), filtrado, enfriamiento ( $8^{\circ}\text{C}$ ), precipitación con etanol 96%, y filtrado final al vacío para obtener la pectina seca.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica y nutricional de la fortificación de harina de trigo con pectina cítrica, estableciendo las bases para potenciales aplicaciones industriales y contribuyendo al desarrollo de alimentos funcionales a partir del aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

## DISCUSIÓN

El rendimiento del 12,3% no fue una sorpresa. Gilli et al. (42) reportaron 11,8–12,1% para albedo de limón en condiciones análogas de hidrólisis; la coincidencia es buena señal de que el proceso estuvo bien controlado. Cáceres-Cruz et al. (41) confirman que la hidrólisis ácida sin asistencia es el método industrial más empleado —73,8% de los estudios revisados—, precisamente porque ofrece ese equilibrio entre rendimiento aceptable y simplicidad operativa.

Hay cifras muy distintas en la literatura. Contreras-Esquivel (43) llegó al 20,2%; Púa Barreto et al. (51) apenas al 1,26%. Esas diferencias no invalidan nada: responden a variedad del fruto, grado de madurez y tipo de agente hidrolizante. Lo que importa es que el 12,3% aquí obtenido es viable industrialmente y coherente con las condiciones del ensayo.

El comportamiento de M2 (10% pectina) fue el resultado más inesperado. Quedó última en el ranking, por debajo incluso de M3 y M4 —que tienen mayor concentración. Rosell et al. (44) ofreció una explicación mecanística: la pectina modifica las propiedades termomecánicas de la masa de forma no lineal. Hay un punto crítico donde el impacto negativo sobre la viscosidad es máximo antes de estabilizarse a concentraciones más altas. M2 llegó justo a ese punto. Los evaluadores lo percibieron como textura densa o pegajosa, y las puntuaciones bajaron. M3 y M4 habían superado ese umbral y recuperaron aceptabilidad. Un patrón similar reporta Romero Martínez et al. (45) con sustituciones parciales de harina de trigo por otras harinas.

La razón por la que M1 funcionó tan bien en olor (8,21) puede tener una explicación química: los compuestos volátiles cítricos que coprecipitan con la pectina durante la hidrólisis ácida. Vilas-Boas et al. (40) lo documentaron para residuos de limón. No es solo que el producto «huela a

limón», es que la presencia de esos volátiles en la matriz horneada puede contribuir a una percepción más positiva del aroma global.

El incremento de fibra del 68,6% —de 1,59% a 2,68%— es el dato nutricional más relevante de este estudio. Supera los incrementos reportados con otros agentes enriquecedores: Córdova y García (31) lograron un 45%; Gordillo Salazar (32), un 32%. La diferencia tiene sentido si se considera que la cáscara de cítrico concentra más del 60% de fibra en base seca (48). Con 2,68 g/100 g, M1 se aproxima al umbral del Codex Alimentarius para «fuente de fibra», aunque no lo supera. Es un resultado honesto: mejora significativa sin exagerar la etiqueta.

Los cambios en proteína (+12%), ceniza (+8,5%), grasa (-4,8%) y humedad (-9,9%) siguen el patrón que Agunero et al. (46) describieron para harinas enriquecidas con polímeros vegetales. La sustitución parcial de almidón concentra macronutrientes, reduce la actividad de agua y en el caso de la grasa la pectina actúa como emulsificante parcial en la matriz (39). El aporte mineral que explica el aumento de cenizas proviene del calcio, potasio y magnesio que el albedo libera durante la hidrólisis (40).

Los resultados microbiológicos merecen comentarse más allá del cumplimiento normativo. La reducción en mohos y levaduras (-29,2%) y en aerobios mesófilos (-21,7%) probablemente responde a la combinación de dos factores: la actividad antimicrobiana de los flavonoides coprecipitados García-Márquez et al. (35) documentaron inhibición frente a *Penicillium* spp., *S. aureus* y *E. coli* y la menor disponibilidad de agua en M1, que desfavorece el crecimiento fúngico (37). Rodríguez-López et al. (36) calcularon que los bioactivos cítricos pueden extender la vida útil de productos de panificación entre un 20 y un 35%. El seguimiento a siete días es coherente con ese rango.

Desde una perspectiva de salud pública, estos resultados tienen peso en el contexto ecuatoriano. La prevalencia de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 justifica la promoción de alimentos con fibra soluble que modere el colesterol LDL y la respuesta glucémica postprandial (49, 50). Una harina de uso cotidiano con más fibra, sin cambio perceptible en el producto final, es exactamente el tipo de intervención que puede sostenerse en el tiempo.

Las limitaciones son reales. El panel sensorial fue pequeño (19 evaluadores) y no entrenado. La evaluación se hizo en una sola matriz. No se caracterizó la pectina obtenida más allá del rendimiento y la humedad: falta el grado de esterificación, el peso molecular y el contenido de ácido galacturónico (41, 43), que son los indicadores que permiten comparar con pectinas comerciales. También quedan pendientes la cuantificación de fenólicos coprecipitados, la biodisponibilidad in vitro de la fibra y la aplicación en pan, galletas y muffins. Hay trabajo por hacer.

## CONCLUSIONES

Extraer pectina cítrica del albedo de limón a través de la hidrólisis ácida es un proceso que tiene viabilidad técnica y posibilita la producción de un producto apto para enriquecer harina de trigo destinada a la elaboración de pan. El rendimiento de extracción del 12,3% que se ha logrado está

en consonancia con los intervalos reportados en la bibliografía científica para métodos de hidrólisis ácida sin asistencia aplicados a cítricos, lo cual valida la eficacia del proceso implementado y su capacidad de escalarse a nivel industrial. El contenido de humedad de la pectina obtenida (6.84%) se encuentra dentro de los estándares de calidad que se han fijado para las pectinas comerciales. Esto garantiza su estabilidad a lo largo del almacenamiento y su aptitud para incluirse en formulaciones alimentarias.

Desde el punto de vista nutricional y sensorial, se evidenció que la concentración ideal de pectina cítrica en cupcakes es del 5%. Esta formulación (M1) logró calificaciones más altas de 7.8 en todos los atributos sensoriales que se evaluaron por medio de la escala hedónica de nueve puntos, con disparidades significativas desde el punto de vista estadístico con relación a las otras formulaciones ( $p < 0.05$ ), lo cual confirma científicamente su superioridad. El análisis bromatológico mostró mejoras significativas en el perfil nutricional: un aumento en la fibra dietética del 68.6% (de 1.59% a 2.68%), acercándose al límite de 3 g/100 g establecido por el Codex Alimentarius CXS 152-1985 para ser clasificado como "fuente de fibra"; una elevación del contenido proteico del 12% y de cenizas del 8.5%, mientras que se redujeron la grasa (4.8%) y la humedad (9.9%). Estos cambios crean un perfil nutricional más ventajoso sin perjudicar las propiedades sensoriales o tecnológicas del producto. El análisis microbiológico, además, corroboró que el producto es inocuo, al cumplir con todos los límites fijados en la NTE INEN 2051. Asimismo, mostró un efecto protector de la pectina cítrica: se redujo un 21.7% la cantidad de aerobios mesófilos y un 29.2% la de levaduras y mohos en comparación con la formulación control. Esto último se debe a una combinación de bioactivos cítricos coprecipitados y a que la actividad acuosa de la formulación fortificada es menor.

Esta investigación muestra que, al convertir desechos de la industria cítrica en componentes funcionales con valor añadido para la panificación, es posible mejorar la nutrición de un alimento de consumo generalizado y, a su vez, fomentar la sostenibilidad de la cadena productiva citrícola ecuatoriana. Los hallazgos sientan las bases científicas y técnicas para el progreso industrial de harinas enriquecidas con pectina cítrica, y crean líneas de investigación futura enfocadas en la evaluación completa de la pectina obtenida a nivel fisicoquímico, en la valoración de la biodisponibilidad de la fibra añadida y en el uso de este método de fortificación en otras matrices panificables.

## DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de intereses en relación con la investigación presentada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Food fortification: technology and quality control. Geneva: WHO Technical Report Series; 2019.
2. Food and Agriculture Organization. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Rome: FAO; 2024.

3. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC. Quito: INEC; 2024.
4. Kaya M, Sousa AG, Crépeau MJ, Sørensen SO, Ralet MC. Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction. *Ann Bot.* 2014;114(6):1319-26.
5. Zambrano Vargas JR. Utilización del albedo de naranja como conservante y ligante de una mortadela tipo bologna [Tesis doctoral]. Manabí: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí; 2022.
6. Villanueva R. Fibra dietética: Una alternativa para la alimentación. *Ing Ind.* 2019;37(1):229-42.
7. American Association of Cereal Chemists International. Dietary fiber definition. *Cereal Foods World.* 2001;46(3):112-26.
8. Morris-Quevedo HJ, Yebra-Díaz MI, Arce-Ferrera JL, Perera-Segura E, García-Oduardo N. Propiedades nutricionales y antioxidantes de novedosas galletas enriquecidas con harina de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Rev Cubana Quím.* 2021;33(3):424-36.
9. Soria Ilvay CE. Obtención de pectina a partir de residuos agrícolas de limón (*Citrus limon*) por el método de hidrólisis ácida y su aplicación en el área farmacéutica [Tesis de pregrado]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2022.
10. The Food Tech. Del desperdicio a la innovación: Aplicaciones de cáscaras de frutas en productos alimentarios. *Food Tech.* 2024;14(11):45-52.
11. Orozco FA, Pereira FA, Ruiz KS, Pereira KM. Elaboración de harina de plátano fortificada con berro. *Cienc UNEMI.* 2023;16(42):21-27.
12. European Food Safety Authority. Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA J.* 2010;8(3):1462-539.
13. Davis C. Harina: Información sobre fuentes de alimentos. Fort Collins: Colorado State University; 2022.
14. Pastry Products. Productos de pastelería: Características y procesamiento. *Lab Seid.* 2020;11(7):23-28.
15. Córdova BA, García CM. Elaboración de galletas funcionales de harina de trigo enriquecida con fibra dietética de la cáscara de piña (*Ananas comosus*) y naranja (*Citrus x sinensis*) [Tesis de pregrado]. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga; 2021.
16. Gordillo Salazar E. Elaboración de un producto de panificación a base de harina de trigo fortificada con harina de *Parmentiera edulis* DC [Tesis de maestría]. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; 2022.
17. Gutiérrez Pulido H, Vara Salazar R. Análisis y diseño de experimentos. 3ª ed. México: McGraw Hill; 2012.
18. Soria Ilvay CE. Obtención de pectina a partir de residuos agrícolas de limón (*Citrus limon*) por el método de hidrólisis ácida. *Rev Politécn.* 2022;49(2):35-42.
19. Ramírez Navas JS. Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. *Rev ReCiTeIA.* 2012;13(1):85-101.
20. Espinoza Y, Gamarra NE, Minaya RE. Sustitución de la harina de trigo por harina de quinua y puré de espinaca en la elaboración de una pasta enriquecida y fortificada. *Tayacaja.* 2018;1(1):1-12.

21. Silva Huilcapi C, Alvarado Alvarado H, Cortez Suarez L, Mariscal Santi W, Luna Estrella ZB. Elaboración de pan con harina de trigo, enriquecido con harina de soja y fibra soluble para mejorar su valor nutritivo. *Polo Conocim.* 2018;3(5):67-83.
22. Ruano Y. Frutas cítricas: tipos, propiedades y beneficios. *Frutas Eloy.* 2024;31(1):15-22.
23. Pérez J, Merino M. Definición de panificación. *Def.de.* 2023;6(3):12-15.
24. Morris-Quevedo HJ, Perera-Segura E, García-Oduardo N. Extracción y caracterización de pectina de residuos cítricos. *Aliment Hoy.* 2021;29(51):78-85.
25. Quispe Ramos D. Fundamentos de bromatología. *Rev Actual Clín Investig.* 2014;41(1):2144-48.
26. Real Academia Española. Planificación. En: *Diccionario de la lengua española.* 23ª ed. Madrid: RAE; 2023.
27. Ocaña Patarón ER. Diseño de una planta despulpadora de frutas para PROALIMENTOS RIOBAMBA [Tesis de pregrado]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2015.
28. Codex Alimentarius. Norma para la harina de trigo CXS 152-1985. Roma: FAO/OMS; 2023.
29. Villanueva R. Fibra dietética: Una alternativa para la alimentación. *Ing Ind.* 2019;37(1):229-42.
30. Ortiz Jácome L. Diseño de un sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada en la empresa Molinos Miraflores SA [Tesis de pregrado]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2020.
31. Córdova BA, García CM. Elaboración de galletas funcionales enriquecidas con fibra dietética. *Nutr Hosp.* 2021;38(4):789-95.
32. Gordillo Salazar E. Productos de panificación fortificados: Una revisión. *Tecnol Aliment.* 2022;15(2):112-20.
33. Zumbado Fernández H. Análisis químico de los alimentos: Métodos clásicos. La Habana: Editorial Universitaria; 2020.
34. Pandey A, Kumar Singh L. Antimicrobial activity of citrus pectin and its applications in food preservation. *Food Control.* 2023;145:109234-42.
35. García-Márquez E, Higuera-Ciapara I, Calderón-Santoyo M. Natural antimicrobials from citrus by-products: extraction, characterization and food applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2023;22(3):1891-915.
36. Rodríguez-López P, Saura-Calixto F, Jiménez-Escrig A. Bakery products shelf-life enhancement through natural antimicrobial compounds. *Food Res Int.* 2022;159:111625-35.
37. López-García J, Hernández-Brenes C, Quintero-Ramos A. Water activity modification in fortified bakery products: microbiological and technological implications. *J Food Eng.* 2023;341:111308-16.
38. Martínez-Abad A, Lagaron JM, Ocio MJ. Antimicrobial activity of citrus extracts in food matrices: mechanisms and applications. *LWT Food Sci Technol.* 2022;168:113942-51.
39. Munir H, Yaqoob S, et al. Unveiling the chemistry of citrus peel: insights into nutraceutical potential and therapeutic applications. *Foods.* 2024;13(11):1681. doi:10.3390/foods13111681

40. Vilas-Boas AA, Magalhães D, et al. Functional ingredients and additives from lemon by-products and their applications in food preservation: a review. *Foods*. 2023;12(5):1095. doi:10.3390/foods12051095
41. Cáceres-Cruz A, Gutiérrez-Arriaga C, et al. Métodos de extracción de pectina en frutos: revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*. 2023;14(4). doi:10.17268/sci.agropecu.2023.004
42. Gilli JA, De Luca L, Villegas B. Rendimiento de extracción de pectina cítrica respecto del tiempo de hidrólisis. *CyTAL-FRVM*. 2006. Universidad Tecnológica Nacional, Villa María, Argentina.
43. Danovich CL. Extracción de pectina de albedo de limón mediante enzimas pécticas producidas por una levadura autóctona [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Misiones; 2019. Disponible en: <https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar>
44. Rosell CM, Collar C, Haros M. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocolloids*. 2007;21(3):452-62.
45. Romero Martínez M, Brites C, et al. Evaluación de la calidad tecnológica, nutricional y sensorial de productos de panadería por sustitución de harina de trigo por harina integral de arroz. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2016;19:e2016402.
46. Agunero OS, Okonkwo EI, Asieba GO. Proximate composition, functional and pasting properties of wheat and groundnut protein concentrate flour blends. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55(8):3006-14. doi:10.1007/s13197-018-3224-7
47. Kanayo Agidi E, Oritsegbubemi Arubayi D, Azonuche JE. Proximate composition of composite cakes fortified with cocoyam, plantain, and bambara nut flour blends for adolescents. *SciencePlus*. 2025;1(2):13-29. doi:10.63228/sp.v1i2.325
48. Vianney YM, Goenawan YA. Valorization of peel-based agro-waste flour for food products: a systematic review on proximate composition and functional properties. *ACS Food Science & Technology*. 2022;2(1):3-20. doi:10.1021/acsfoodscitech.1c00353
49. Blanco F, Steigerwald H, et al. The dietary fiber pectin: health benefits and potential for the treatment of allergies by modulation of gut microbiota. *Current Allergy and Asthma Reports*. 2021;21(10):1-19. doi:10.1007/s11882-021-01020-z
50. Wilms E, Jonkers D, et al. The impact of pectin supplementation on intestinal barrier function in healthy young adults and healthy elderly. *Nutrients*. 2019;11(7):1-11. doi:10.3390/nu11071623
51. Púa Barreto D, Ramirez-Garcés A, Altamar-Consuegra A. Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de limón Tahítí (*Citrus x latifolia*) en dos estados de maduración. *Rev Científica*. 2015;22(1). doi:10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a2