

POLVOS DE CÁSCARA, SEMILLA Y PULPA DE MANGO CRIOLLO (*MANGIFERA INDICA L.*) COMO ALTERNATIVAS PARA LA FUNCIONALIZACIÓN DE PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

POWDERS OF PEEL, SEED AND PULP OF MANGO CRIOLLO (*MANGIFERA INDICA L.*) AS ALTERNATIVES FOR THE FUNCTIONALIZATION OF BAKERY PRODUCTS

López Aranda Erika¹, Escamilla Castañeda Jonathan², Romero Cruz Anabel³,
Luna Esquivel Narciso⁴, Escamilla Ramírez Rosalinda⁵

¹Tecnológico Nacional de México, ITS de Acatlán de Osorio, erika.lopez@itsao.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1424-2927>

²Tecnológico Nacional de México, ITS de Acatlán de Osorio, g18120009@itsao.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0004-0738-0058>

³Tecnológico Nacional de México, ITS de Acatlán de Osorio, anabel.romero@itsao.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1142-9251>

⁴Tecnológico Nacional de México, ITS de Acatlán de Osorio, esquivel.narciso@itsao.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0002-2829-9265>

⁵Tecnológico Nacional de México, ITS de Acatlán de Osorio, rosalinda.escamilla.ramirez@itsao.edu.mx, <https://orcid.org/0009-0003-2981-2635>

<https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v8i2.432>

Resumen -- El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por polvos de cáscara (PC), pulpa (PP) y semilla (PS) de mango criollo (*Mangifera indica L.*) en las características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de un producto de panificación. Se realizaron cuatro formulaciones de un pan tipo molde, en las cuales se sustituyó el 12.5 % (F1), 13.0 % (F2), 13.5 % (F3) y 14.0 % (F4) de harina de trigo por una mezcla de PC, PP y PS de mango. A las formulaciones se les determinó el contenido de proteína, grasa, cenizas, humedad, fibra cruda, carbohidratos, fibra dietética y fenoles totales. La evaluación sensorial del aroma, sabor, textura y apariencia general se hizo empleando una escala hedónica de 9 puntos.

Existió efecto significativo del porcentaje de sustitución de la harina de trigo por una mezcla de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango en las características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de un pan tipo molde. La formulación F1, con 2.5 % PC, 7.5% PP y 2.5 PP, presentó mayor contenido de proteína (5.946 %), mientras que la formulación F4 con 4 %, 7.5% y 2.4 de PC, PP y respectivamente, presentó mayor contenido de grasa (2.465 %), fibra cruda (6.685 %), fibra dietética total (4.847 %) así como contenido de fenoles totales (10.386 mgAG/ g). El reemplazo parcial de harina de trigo por 12.5 % de una mezcla de PC, PP y PS presentó una alta puntuación en la evaluación sensorial.

Las combinaciones de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango pueden ser empleadas como un sustituto de la harina de trigo, obteniéndose productos de panificación con buena calidad nutricional, con características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales aceptables para la población en general.

Palabras Clave-- pan, cáscara, pulpa, semilla, mango, fibra, fenoles.

Abstract -- The purpose of this study was to evaluate the effect of partially replacing wheat flour with mango criollo (*Mangifera indica L.*) peel (PP), pulp (PP), and seed (PS) powders on the physicochemical, functional, and sensory characteristics of a baked product. Four loaf bread formulations were created, in which 12.5% (F1), 13.0% (F2), 13.5% (F3), and 14.0% (F4) of wheat flour was replaced with a mixture of mango peel, pulp, and PS. The formulations were determined for protein, fat, ash, moisture, crude fiber, carbohydrates, dietary fiber, and total phenolic contents. Sensory evaluation of aroma, flavor, texture, and overall appearance was performed using a 9-point hedonic scale.

There was a significant effect of the percentage of wheat flour substitution with a mixture of mango peel, pulp, and seed powders on the physicochemical, functional, and sensory characteristics of a loaf of bread. Formulation F1, with 2.5% CP, 7.5% PP, and 2.5% PP, had a higher protein content (5.946%), while formulation F4, with 4%, 7.5%, and 2.4% of CP and PP, respectively, had a higher fat content (2.465%), crude fiber (6.685%), total dietary fiber (4.847%), and total phenol content (10.386 mg/g). The partial replacement of wheat flour with 12.5% of a mixture of PC, PP, and PS showed high scores in the sensory evaluation.

Combinations of mango peel, pulp, and seed powders can be used as a substitute for wheat flour, resulting in bakery products with good nutritional quality and physicochemical, functional, and sensory characteristics acceptable to the general population.

Key words – bread, peel, pulp, seed, mango, fiber, phenols.

INTRODUCCIÓN

Una alimentación adecuada es esencial para la salud, bienestar y desarrollo de las personas. La alimentación de

la sociedad actual está influenciada en gran medida por el ritmo de vida que determina patrones de consumo encaminados hacia alimentos elaborados con alto contenido en grasas saturadas, bajo valor nutritivo, poca fibra dietética, azúcares refinados, aditivos, conservadores, elevados niveles de sodio y aporte calórico; la ingesta excesiva de estos alimentos es el resultado, en gran medida, de la amplia disponibilidad, asequibilidad, publicidad y promoción de productos alimenticios ultraprocesados y procesados que contienen cantidades excesivas de estos nutrientes [1]. Este consumo elevado aunado a estilos de vida sedentarios, impiden que se queme la cantidad de energía acumulada en el cuerpo, y así contribuyen en forma importante al aumento en la incidencia de enfermedades crónicas o enfermedades no transmisibles (ENT), que surgen como consecuencia de una alimentación no saludable, tales como la dislipemias, hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares, desnutrición, obesidad y sobrepeso, estas últimas están asociadas a un mayor riesgo de hipertensión, dislipemia, diabetes tipo I y II, accidentes cardiovasculares, enfermedad biliar, osteoartritis, apnea del sueño y cáncer.

Según la Organización Mundial de la Salud [2], las ENT han cobrado la vida de 17.9 millones de personas menores de 70 años y en el 2019, fueron responsables del 44.5% (3.2 millones, aproximadamente) de las muertes en América Latina. En México, casi medio millón de personas murieron durante el periodo enero-junio 2022, principalmente por enfermedades del corazón y diabetes mellitus, cáncer y enfermedades del hígado; para el mismo año, 12 millones 400 mil personas padecían diabetes, además el sobrepeso en personas adultas fue del 38.3% y de obesidad el 36.9%. En algunas de estas enfermedades la causa es claramente alimentaria; en alguna, la dieta puede contribuir en forma importante a la causa o al tratamiento; y en otras, la relación con la dieta se sospecha, pero no se ha comprobado [3].

El pan es uno de los alimentos básicos y de mucha importancia en la dieta humana formando parte de la alimentación de muchas civilizaciones. México se posiciona como el octavo consumidor de pan en el mundo, según cifras de la Cámara Nacional de la Industria Panificadora [4], en el 2023, el consumo per cápita de productos de panificación fue de 33.5 kg, de los cuales entre 70-75% corresponden al pan blanco y el resto a pan dulce, galletas y pasteles.

Los panes son productos con gran valor nutritivo, el cual depende mucho de la calidad de los ingredientes y aditivos en su composición, por tal motivo pueden ser empleados como acarreadores de compuestos bioactivos y otros componentes nutricionales, al incorporar otras harinas (derivadas de semillas, frutas, legumbres, raíces o tubérculos), que pueden ser consideradas como materia prima no convencional en su elaboración [5] y hacerlos alimentos funcionales.

De acuerdo con Chávez *et al.* [6], los mexicanos tienen un elevado consumo de alimentos ricos en carbohidratos, el pan dulce y el pan blanco y derivados del trigo se encuentran dentro de los siete alimentos que contribuyen con el 50% de la ingesta energética total, aportando 6.6 % y 4.6 % de azúcares, respectivamente; su consumo podría explicar la prevalencia de diabetes y obesidad en el país, que afecta la salud de los mexicanos y ha posicionado al país como el de mayor población con estas afectaciones [7].

El mango es una de las frutas tropicales de mayor consumo en el mundo. Ciertas variedades se han logrado adaptar a las condiciones climáticas de la región de Acatlán. De la variedad criolla existen 7,480 árboles que producen 7, 290.26 toneladas/año, de las cuales solo se logra aprovechar el 3% al comercializar en fresco y en conserva en mercados locales, debido a la falta de empresas procesadoras de este fruto en la región [8].

El mango principalmente está compuesto por cáscara y pulpa con 82.97%, la semilla entre 7-8% y 15% del hueso. Este fruto beneficia al cuerpo humano, ya que aporta vitaminas A, C, E y del complejo B, así como fibras solubles (pectinas), ácidos orgánicos (cítrico, málico y tartárico), además de carbohidratos. Tanto cáscara, pulpa y semilla pueden ser consideradas como fuentes de fibra dietética total y compuestos antioxidantes como fenoles y flavonoides [9,10], por lo tanto, es posible incorporarlos en forma de polvos a un producto de panificación haciendo que se incrementen sus características fisicoquímicas y funcionales sin perder sus características sensoriales aceptables.

Debido al elevado consumo de productos de panificación en el país, considerando que el 37 % de los hogares mexicanos consumen pan por lo menos una vez a la semana (en promedio 3.3 veces) y cuyo ingesta excesiva está relacionada a un mayor riesgo de aparición de ENT por su elevado índice glucémico, el presente proyecto tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por una mezcla de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) en las características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales de un producto de panificación para que este sea considerado como un alternativa para mejorar la salud y reducir el riesgo de ciertas enfermedades, aprovechando el excedente de la producción anual de mango criollo en la región mixteca, otorgándole así valor agregado a los compuestos bioactivos presentes en este fruto.

DESARROLLO

El presente trabajo se realizó en el Taller de Industrias Alimentarias, así como en el Laboratorio Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio (TecNM- Acatlán de Osorio).

Obtención de materia prima

En huertas de traspatio del municipio de Acatlán, Puebla, entre los meses de abril – mayo del 2024, se recolectaron mangos de la variedad criolla en dos estados de madurez: pintón (estado de madurez 2) y atenque (estado de madurez 3) de acuerdo a la guía de estados de madurez [8], que se presenta en la Tabla 1. En estos dos estados de madurez, la firmeza del fruto permite separar la cáscara sin restos de pulpa del fruto. Los mangos fueron almacenados en el Taller de Industrias Alimentarias en un refrigerador comercial hasta su tratamiento.

Tabla 1. Estados de maduración del mango criollo de la región mixteca.

Cáscara					
Pulpa					
Estado	1 Verde	2 Pintón	3 Atenque*	4 Madurez de consumo	5 Totalmente maduro
Firmeza kg/cm ²	9.1	6.7	5.2	4.36	3.7
SST (°Brix)	6-8.5	10-13	15-17	15-18	19-22

Fuente. López-Aranda et al., 2023

Obtención de polvos de cáscara, pulpa y semilla

Los mangos fueron lavados con agua potable para eliminar rastros de tierra e insectos. Posteriormente con la ayuda de un pelador de papas se separó la cáscara de la pulpa, esta última fue desprendida del hueso con ayuda de un cuchillo y cortada en rebanas de aproximadamente 0.5 cm de espesor. Las semillas de los mangos fueron extraídas del hueso con ayuda de un cuchillo y cortadas en pedazos de aproximadamente 2 x 2 cm. Por separado pulpa, cáscara y semilla fueron escaldadas (98°C y 1 minuto) y sumergidas en agua con hielo para eliminar el calor transferido. Las muestras fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico (5% p/v) [11] y posteriormente en bisulfito de sodio (1 % p/v), para evitar el pardeamiento enzimático, así como la proliferación de hongos y levaduras, durante el proceso de secado convectivo [8].

Para reducir la humedad de las cáscaras, pulpa y semillas se empleó aire caliente a 60°C en un deshidratador de charolas (Aresma, modelo 100) durante 24 horas, hasta una humedad final menor al 5% [8,12]. Una vez deshidratadas, se redujeron de tamaño con ayuda de un molino eléctrico por periodos de 1 minuto, de esta manera se controló el sobrecalentamiento de los polvos que provocaría daño en la proteína y el exceso de eliminación de agua [13]; los polvos obtenidos fueron cribados hasta gránulos que pasaron a través de un tamiz de abertura equivalente a 500 micras [8], posteriormente se envasaron en bolsas de polietileno herméticamente

selladas, rotuladas con la fecha de elaboración y las siglas PC, PP y PS, para los polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango, respectivamente; las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente hasta la incorporación en el producto de panificación.

Formulación del producto de panificación

Se estandarizó una formulación inicial de pan de molde (F0), a partir de la cual se variaron los porcentajes de sustitución de harina de trigo todo uso (HT) por una mezcla de polvos de cáscara (PC), pulpa (PP) y semilla (PS), en un intervalo de 5 hasta 30%. Se realizaron un total de diez formulaciones y se seleccionaron cuatro, F1, F2, F3 y F4 (Tabla 2), considerando aquellas en las que el porcentaje de sustitución no afectó la viscosidad de la masa, el tiempo de amasado y fermentación [12]; su aceptación organoléptica se obtuvo a través de una prueba de ordenamiento realizada por un grupo de diez panelistas en un rango de edad de 20 a 50 años, no entrenados y pertenecientes a la comunidad tecnológica del TecNM-Acatlán de Osorio. Teniendo estas consideraciones, se encontró que una sustitución por encima del 15% de la mezcla de polvos de mango ocasionó que las masas fueran secas y difíciles de manejar, la fermentación no fue prolongada, los panes no fueron ligeros y aireados además presentaron un sabor residual astringente por lo que no contaron con la aceptación por parte del panel de catadores, en comparación con la formulación base, F0.

Tabla 2. Porcentaje de sustitución de harina de trigo por polvos de cáscara, pulpa y semilla en pan de molde.

Formulación	% HT	Porcentaje de sustitución, %	Composición de la sustitución, %		
			PC	PP	PS
F0	100	0	0	0	0
F1	87.5	12.5	2.5	7.5	2.5
F2	87	13.0	3	7.5	2.5
F3	86.5	13.5	3.5	7.5	2.5
F4	86	14.0	4.0	7.5	2.5

Fuente. Elaboración propia, 2025.

El proceso estandarizado para la elaboración de pan de molde se inició con recepción y posterior pesado de la materia prima (harina, levadura, leche, agua, azúcar, mantequilla, sal) empleando una balanza granataria electrónica. Para favorecer el proceso de mezclado, la harina de trigo todo uso se tamizó junto con la mezcla de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo y sal, sobre un bol de acero inoxidable previamente sanitizado. A esta combinación de polvos se adicionó la levadura activada en la mezcla de agua y leche a 30°C. Para desarrollar el gluten que permitiría la formación de una miga adecuada al producto de panificación se empleó una

amasadora tipo industrial utilizando el gancho para amasar durante 5 minutos. Finalmente se procedió a adicionar la mantequilla, y emplear 5 minutos más la amasadora, hasta alcanzar el punto “media o ventana”, lo que garantiza que se ha alcanzado la máxima elasticidad y la formación de la miga.

La masa formada fue llevada a un recipiente de plástico previamente engrasado, y cubierta con papel film y colocada en un espacio con ausencia de corrientes de aire y a una temperatura se entre 25 y 30°C, ideal para que la levadura metabolizará los azúcares de la masa. La masa en este tiempo dobló su volumen y fue el indicativo de un proceso de fermentación óptimo. Alcanzado el tiempo de fermentación, la masa fue llevada a la mesa de trabajo, y para lograr reducir el contenido de dióxido de carbono producido por la levadura, se le dio leves golpes con la palma de la mano, posteriormente se moldeó en forma de rectángulos de 15 x 20 cm y con un espesor de 3 cm, estos fueron depositados en moldes rectangulares, previamente engrasados y enharinados, en los cuales se produjo una segunda fermentación que ayudó a mejorar la calidad de la miga de pan. Las formulaciones de pan de molde se hornearon a 200°C, en un horno de gabinete, con un atomizador regularmente se roció agua sobre la superficie de los panes, lo que permitió que estos tuvieran una corteza blanda y se asegurará una humedad óptima. Después de 20 minutos, la corteza de pan estaba formada y la coloración café indicó que el pan tenía la cocción óptima. Una vez fuera del horno de panificación, el pan fue llevado a la mesa de trabajo para que se disminuyera la temperatura hasta 30°C, para posteriormente, envasarlos en bolsas de papel estraza y ser almacenado en un lugar libre de humedad para evitar la presencia de microorganismos que afecten al producto.

Análisis de formulaciones de pan

a) Características fisicoquímicas

A través de la aplicación de los métodos oficiales de la AOAC [14], se determinó en las formulaciones de pan de molde, el contenido de proteína bruta a través del método Kjendhal (950.36), fibra cruda (950.37), cenizas (930.22), grasa (935.38) y humedad, empleando el método rápido de la termobalanza (NMX-F-428-1982) [15,12]. El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia [16, 17, 12]. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

b) Fibra dietética total

La fibra dietética total, soluble e insoluble de las muestras, se obtuvo a través del método enzimático-gravimétrico [14], desarrollado por Asp *et al.* [18] y con la modificación aplicada por Parra & Meza [19] y López-Aranda *et al.* [12] empleando alfa-amilasa, pancreatina y pepsina, de la marca Sigma Aldrich ®

Obtención de los extractos de la muestra

Se prepararon extractos a partir de 1 g de muestra, macerada con 25 mL de alcohol etílico (95% v/v) y agitados durante 30 minutos a 5000 rpm [19]. El sobredrenante se filtró usando papel filtro Whatman No.1 y se centrifugo a 2000 rpm durante 20 minutos e inmediatamente se empleó en la determinación de compuestos fenólicos totales [12].

c) Contenido de fenoles totales

Los fenoles totales de los extractos de las cinco formulaciones se determinaron colorimétricamente, utilizando el método de *Folin-Ciocalteu*, según lo descrito por Singleton *et al.* [20], con algunas modificaciones [12] y ácido gálico de la marca Sigma-Aldrich ®, como patrón; se añadieron alícuotas de 0.5 mL del extracto a 0.5 mL de reactivo de *Folin-Ciocalteu*, seguido de la adición de 0.5 mL de una solución acuosa de carbonato de sodio al 7.5 % (p/v). La mezcla se agitó y se dejó reposar durante 30 min. La absorbancia a 765 nm se midió usando un espectrofotómetro VELAB modelo VE-5000V. Se utilizó como referencia una muestra en blanco compuesta por agua y reactivos. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de polvo (mg GAE/g de polvo) por referencia a la curva de calibración de ácido gálico usando la siguiente ecuación:

$$y = 0.044 x + 0.1645 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$R^2 = 0.996$$

d) Evaluación sensorial

A partir de un panel de siete catadores, formado por estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, se realizó la evaluación sensorial por atributos. Este panel de evaluadores realizó 5 sesiones de entrenamiento de duración de una hora; durante estas sesiones se presentaron referencias que permitieran lograr una apreciación óptima del panel y desarrollar los descriptores a evaluar en las formulaciones del pan de molde con sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de PC, PP y PS. De este modo, se elaboró una papeleta para evaluación de los atributos de aroma, sabor, textura y apariencia general. Las muestras consistieron en panes horneados un día de anticipación, que fueron almacenadas en bolsas de papel estraza y almacenadas a temperatura ambiente, para resguardar las características organolépticas; su dosificación se realizó empleando un cuchillo de sierra para mantener la hogaza del pan intacta; las muestras fueron presentadas en platos desechables, acompañadas de agua como sustancia de enjuague y de la papeleta de evaluación [12]. Se empleó una escala hedónica de 9 puntos, en la cual 1=me disgusta mucho, 5=no me gusta ni me disgusta, 9= me gusta mucho [17, 16, 22, 23, 39].

Análisis Estadístico

Los resultados se expresaron como el valor promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Los resultados de las propiedades fisicoquímicas, contenido de fibra dietética y fenoles totales, así como las características sensoriales de las formulaciones de panes de molde fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño completamente al azar [17, 16, 23, 12] para determinar la existencia de diferencias significativas y la prueba de Tukey para la comparación entre medias. Todos los análisis se realizaron en el paquete estadístico Minitab (Versión 17), considerando un valor de Alpha ≤ 0.05 como efecto significativo.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos del contenido de humedad, hidratos de carbono, proteínas, fibra cruda, grasa y cenizas presentes en las formulaciones de pan de molde con sustitución parcial de harina de trigo por una mezcla de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo, se presentan en la Tabla 3, estos se compararon con un pan de molde sin sustitución de harina de trigo, que se empleó como patrón. Los análisis estadísticos indicaron que en los panes de molde en estudio existieron diferencias significativas entre los contenidos de humedad, proteína, grasa, fibra cruda, cenizas y carbohidratos ($p = 0.00$) como se puede observar en la tabla, la composición química varía con respecto al porcentaje de sustitución, esto fue observado en panes de moldes elaborados con sustitución de harina de trigo por harina de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L.*) [24], banano verde [25], papa y maíz [26], kiwicha (*Amaranthus caudatus Linnaeus*) [27] y cáscaras de linaza (*Linum usitatissimum L.*) [39] desarrolladas en otras investigaciones.

La formulación F1 presentó mayor contenido de proteína con respecto a las otras formulaciones y menor contenido con respecto a la F0. El porcentaje de proteína disminuyó en relación con al porcentaje de sustitución de harina de trigo sustituida debido a que los PC, PS, PP, tienen menor contenido de proteína [12] del reportado para la harina de trigo comercial empleada (10.8%), este comportamiento coincide con lo publicado por Zuleta *et al.* [25] para un pan de molde que incluyó 50 % de harina de banano verde y con lo reportado en sustituciones parciales de harina de trigo por harina de papa (6 y 5 %) y de maíz (6% y 5%) [26]. Los porcentajes de proteínas encontrados en las formulaciones de este estudio son superiores a lo reportado en dos formulaciones de pan, la primera elaborada con una mezcla 50:50 de harina de banana verde y de harina comercial y una segunda, elaborada con una mezcla 25 % algarroba (*Ceratonia siliqua L.*) y el resto de harina comercial de trigo, cuyo contenido de proteína fue de 4.70 % y 5.20 %, respectivamente [25] e inferiores al contenido de proteínas reportado en panes con 16.05 - 13.85 % de harina de tapirama (*Phaseolus lunatus*) [28], 9.32-11.37% de harina de pituca [29], 10.8- 13.10 %, de harina

de maíz y papa a [26], con harina de kiwicha, 8.0- 9.7 % [27] y con harina de una torta extruida de sachá inchi [24]

El contenido de grasa en las formulaciones fue ligeramente mayor a la formulación F0 (2.1 g). A mayor sustitución mayor es el contenido de grasa en las formulaciones; este comportamiento coincide con panes elaborados con sustitución parcial de hasta 20% de harina de trigo con harina de kiwicha [27], con 30 hasta 70 % de harina de tapirama [28] y en panes de 6.3-25% de polvo de pulpa extruida de sachá inchi. El contenido de grasa ligeramente similar entre las formulaciones se puede deber a que el contenido de PS es el mismo (10%).

Con respecto al contenido de humedad, a mayor sustitución de HT por una mezcla de polvos de mango el porcentaje de humedad aumenta, este comportamiento coincide con lo reportado en panes elaborados con harina de banana verde (50%) y con polvo de algarroba, [25], en panes con harina de papa y harina de maíz [26], en un pan adicionado con harina de kiwicha [27] así como en un pan enriquecido con torta extruida de sachá inchi [13]. Este aumento de humedad con respecto al contenido de PC, PS y PP se debe a que tanto la cáscara como la semilla poseen mayor contenido de fibra dietética que atrapa a la humedad y por lo tanto aumenta la absorción de agua, por la interacción entre agua y grupos hidroxilos de los carbohidratos que forman la fibra dietética y sus fuentes de hidrógeno. Cabe destacar que, durante el amasado, el agua necesaria para preparar la masa del pan aumentó en presencia de PC, PP y PS [33]. Respecto a la formulación F0, las formulaciones F1, F3 de esta investigación tienen mayor contenido de carbohidratos. A mayor sustitución de harina de trigo por una mezcla de PC, PP y PS mayor fue el contenido de carbohidratos que presentaron las formulaciones. Los porcentajes de carbohidratos encontrados en las formulaciones de pan son semejantes a lo reportado por Obregón *et al.*, [26] en panes con harina de papa y harina de maíz y en un pan adicionado con harina de kiwicha [27].

Tabla 3. Composición proximal de panes de molde con diversos niveles de sustitución de harina de trigo por mezclas de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo (*Mangifera indica L.*)*

Característica (%)	Formulaciones				
	F0	F1	F2	F3	F4
Humedad	19.6	20.41 $\pm$ 0.23 ^a	20.00 $\pm$ 0.59 ^b	24.74 $\pm$ 0.19 ^c	21.67 $\pm$ 0.03 ^d
Cenizas	1.4	0.68 $\pm$ 0.17 ^a	0.57 $\pm$ 0.18 ^b	0.62 $\pm$ 0.63 ^c	0.79 $\pm$ 0.19 ^d
Proteínas	8.3	5.95 $\pm$ 0.78 ^a	5.78 $\pm$ 0.46 ^{ab}	5.63 $\pm$ 0.734 ^{ab}	5.20 $\pm$ 0.70 ^b
Grasa	2.1	2.26 $\pm$ 0.53 ^a	2.32 $\pm$ 0.89 ^b	2.35 $\pm$ 0.16 ^{bc}	2.47 $\pm$ 0.02 ^c
Fibra Cruda	4.2	5.60 $\pm$ 0.79 ^a	5.74 $\pm$ 0.28 ^b	6.36 $\pm$ 0.84 ^c	6.68 $\pm$ 0.80 ^d
Hidratos de Carbono	64.4	65.12 $\pm$ 0.18 ^a	65.67 $\pm$ 0.06 ^b	60.49 $\pm$ 0.46 ^c	63.19 $\pm$ 0.94 ^d

* Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la Prueba de Tukey al 95%.

Fuente. Elaboración propia, 2025

Contenido de fibra dietética

En el análisis de varianza se encontró diferencia significativa en el contenido de fibra dietética, fibra dietética soluble e insoluble con respecto a la sustitución de harina de trigo por la mezcla de PC, PP y PS ($p < 0.05$). Los valores encontrados de fibra dietética total en las formulaciones con sustitución parcial de harina de trigo por la mezcla de los polvos de cáscara, pulpa y semilla fueron mayores a la formulación base (F0) y fueron menores a lo reportado por Escobar-Paz [30] que sustituyó el 10 % de harina de trigo por harina de cáscara de mango Kent. El contenido de fibra total en el formulación F1, con 12.5% de sustitución (2.5 %PC, 7.5% PP y 2.5%PC) fue superior a lo encontrado en un pan con sustitución del 10% de HT por harina de cáscara de cacao realizado por Noreña-Merina [31]. La cantidad de fibra dietética total en todos los tratamientos fue mayor a lo reportado en una formulación de un pan con una sustitución parcial del 30% de harina de trigo por una mezcla de harina de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*, 12.75 %) y Arroz integral (17.24 %) realizado por Holguín & Vélez [32]. En la Tabla 4, se puede observar que las formulaciones F3 y F4, presentaron el mayor contenido de fibra dietética total, ya que contienen mayor cantidad de PC cuyo contenido de fibra (51.89%) es mayor al 31.92% que aporta el PS [12, 33].

Tabla 4. Contenido de fibra dietética de panes de molde con diversos niveles de sustitución de harina de trigo por mezclas de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo (*Mangifera indica L.*)*

Formulaciones	Fibra Dietética Total	Fibra Dietética Insoluble	Fibra Dietética Soluble
F0	3.65	2.80	0.84
T1	4.64±0.14 ^b	3.30±0.10 ^d	1.35 ± 0.04 ^a
T2	4.60±0.01 ^b	3.783±0.01 ^b	0.81 ± 0.02 ^c
T3	4.34± 0.02 ^c	3.58±0.01 ^c	0.77 ± 0.03 ^c
T4	4.85±0.01 ^a	3.92±0.01 ^a	0.92 ± 0.03 ^b

* Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la Prueba de Tukey al 95%.

Fuente. Elaboración propia, 2025

Fenoles totales

Existieron diferencias significativas en el contenido de fenoles totales, expresado como mg AGE/g, entre las muestras de los tratamientos de esta investigación. En la Tabla 5, se observa que la incorporación de una mezcla de 4.0 % PC, 7.5% PP y 2.5 PS%, mostró el valor más alto de fenoles totales, 10.386 mgGAE/g. Como se puede apreciar el contenido de estos compuestos bioactivos aumenta al incrementar el porcentaje de sustitución de la mezcla de polvos de cáscara, pulpa y semilla, este comportamiento coincide con lo reportado en galletas con harina de cáscara de mango [33, 34, 21, 35] y hueso de

mango [21,35, 36], pastel con polvo de hueso [22], muffins con cáscara [37], pan con cáscara de linaza [39] Los valores del contenido de fenoles totales encontrados en esta investigación son superiores a lo reportado en un pan que incluye 5% de harina de cáscara de mango, 7.57 mgEGA/g, desarrollado por Pathak *et al.* [38] y a 8.1 mgEGA/g elaborado por Sęczyk *et al.* [39] con cáscaras de linaza; estos autores argumentan que aunque la fortificación con ingredientes ricos en fenoles se utiliza comúnmente para promover las propiedades funcionales a base de cereales, hay muchos factores que afectan su eficiencia y sus efectos biológicos, procesos aplicados durante los procesos de producción de masa y pan, por ejemplo, el mezclado, el fermentado y el horneado, pueden afectar significativamente el contenido y actividad de los fenoles.

Tabla 5. Contenido de fenoles totales de panes de molde con diversos niveles de sustitución de harina de trigo por mezclas de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo (*Mangifera indica L.*)*

Formulaciones	Fenoles Totales, mgEGA/g
F0	0.58
T1	15.42 ± 0.06 ^c
T2	16.49 ± 0.02 ^b
T3	28.33 ± 0.06 ^a
T4	27.06 ± 0.14 ^d

* Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la Prueba de Tukey al 95%.

Fuente. Elaboración propia, 2025

Evaluación sensorial

En la Tabla 6 se muestra el comportamiento de la evaluación del Aroma, Sabor, Textura y Apariencia general, empleando una escala hedónica de 9 puntos. Como se puede apreciar en los datos, a mayor sustitución de harina de trigo con harina de mango menor fue la percepción del aroma, sabor, textura y apariencia general, en las formulaciones. El aroma y el sabor del pan cambiaron ligeramente con la sustitución de HT con la mezcla de PC, PP y PS, a mayor sustitución el sabor fue intenso y sabor desagradable en las formulaciones esto debido al contenido alto contenido de polifenoles y taninos que se encuentran presentes en la cáscara y la semilla, por lo tanto se obtuvieron calificaciones por debajo del nivel óptimo de aceptación, esto coincide con lo reportado por Sęczyk *et al.* [39]. Respecto al aroma la formulación con menor sustitución (F1) recibió valoraciones por encima del nivel óptimo de aceptación esto concuerda con lo reportado en panes con harina de maíz y papa [26] y a lo publicado por Gracia-Cisneros *et al.* [29] en un pan con harina de pituca. La formulación F1 presentó una valoración 7 (me gusta moderadamente),

mientras que las demás formulaciones fueron evaluadas como “me gusta poco”, esta valoración de la percepción del sabor es diferente a lo reportado en panes con harina de maíz y papa [26], pan adicionado con harina de kiwicha [27] y panes adicionados con harina de banana verde [25]. El comportamiento de la percepción sensorial de la textura de los panes desarrollados en esta investigación, realizada por el panel de catadores, coincide reportado en harina de pituca [29]. La Percepción sensorial del panel de catadores sobre la apariencia general indica que en las formulaciones de pan con mayor sustitución de harina de trigo existió una menor aceptación de este atributo, tal como se puede observar la formulación F1, fue la mejor evaluada, este comportamiento es similar a lo publicado por Dominguez-Zarate *et al.* [5] en panes adicionados con harina de ramón (*Brosimum alicastrum*).

Tabla 6. Evaluación sensorial de panes de molde con diversos niveles de sustitución de harina de trigo por mezclas de polvos de de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo (*Mangifera indica L.*)*

Formulaciones	Aroma	Sabor	Textura	Apariencia general
F0	9.13	9.48	9.43	9.41
F1	7.2 ± 0.95 ^a	7 ± 1.0 ^c	7.2 ± 0.84 ^d	7.6 ± 0.54 ^a
F2	7 ± 0.86 ^d	6.8 ± 0.47 ^a	6.8 ± 0.84 ^c	6.8 ± 1.09 ^c
F3	6.8 ± 1.16 ^c	6.6 ± 0.89 ^d	6.6 ± 1.14 ^b	6.6 ± 0.55 ^b
F4	6.4 ± 0.55 ^b	6.4 ± 0.55 ^b	6.4 ± 0.89 ^a	6.4 ± 0.59 ^d

* Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la Prueba de Tukey al 95%.

Fuente. Elaboración propia, 2025

CONCLUSIONES

Existió efecto significativo en la sustitución parcial de harina de trigo por harina de mango criollo sobre las propiedades fisicoquímicas funcionales y sensoriales.

A mayor sustitución menor fue el contenido de proteínas, mientras que humedad, grasa y fibra cruda aumentaron, en las cuatro formulaciones de pan en esta investigación. La formulación F1 resultó ser superior en el contenido de proteínas (5.95 %), mientras que la formulación T4 presentó mayor contenido de fibra dietética total (4.85 %) y fenoles (27.06 mgEGA/g).

A mayor sustitución menor fue la valoración sensorial de aroma, sabor, textura y aceptación general que los catadores tuvieron de las formulaciones, sin embargo la formulación del pan con mayor puntaje resultó ser la formulación F1 con 12.5% de harina de trigo por la mezcla de harina de cáscara, semilla y pulpa.

De acuerdo con los resultados de la presente investigación los polvos obtenidos de la pulpa, cáscara y semilla del mango criollo de la región mixteca pueden ser consideradas como un sustituto funcional de la harina de trigo, pues poseen un elevado potencial para promover la

salud en consumidores de pan que pueden o no tener alguna enfermedad crónica.

Las combinaciones de polvos de cáscara, pulpa y semilla de mango criollo permiten obtener productos de panificación con buena calidad nutricional, con características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales aceptables para la población en general. Esta consideración será importante para futuras investigaciones.

Una línea de investigación que se propone se basará en el desarrollo de ingredientes funcionales tales como harinas, polvos y extractos ricos en fibra dietética y antioxidantes obtenidos de la cáscara y semilla de mango criollo para enriquecer productos existentes y hacerlos alimentos funcionales.

Además, la evaluación de la funcionalidad de estos ingredientes en diferentes matrices alimentarias tales como productos de panadería, lácteos, bebidas, mermeladas, entre otros, sería otra línea de investigación futura la cual permitirá probar la efectividad durante el procesamiento, así como durante la vida de anaquel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México y TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, por el financiamiento concedido para el desarrollo de esta investigación y a la Jefatura de División de la Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Panamericana de la Salud. (2022). Etiquetado frontal, mayo 2022. <https://www.paho.org/es/temas/etiquetado-frontal#:~:text=La%20ingesta%20excesiva%20de%20es tos,orientar%20las%20decisiones%20de%20compra>.
- [2] Organización Mundial de la Salud. (2021). Enfermedades no transmisibles, junio 2021. https://www.paho-org.translate.google/en/topics/noncommunicable-diseases?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=Cardiovascular%20diseases%20account%20for%20most,of%20all%20premature%20NCD%20 deaths.
- [3] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2023). Enfermedades crónicas con implicaciones nutricionales, junio 2023. <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s0r.htm>
- [4] López, D. (28 de febrero de 2025). Cada mexicano consume 33 kilos de pan al año y el mercado sigue en ascenso. *El economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/bistronomie/mexicano-consume-33-kilos-pan-ano-mercado-sigue-ascenso-20250227-748094.html>.
- [5] Domínguez-Zárate, P. A., García-Martínez, I., Güemes-Vera, N. & Totosaús, A. (2019). Textura, color y aceptación sensorial de tortillas y pan producidos con

harina de ramón (*Brosimum alicastrum*) para incrementar la fibra dietética total. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 20(3).

[6] García-Chávez, C. G., Monterrubio-Flores, E., Ramírez-Silva, I., Aburto, T. C., Pedraza, L. S., & Rivera-Dommarco, J. (2020). Contribución de los alimentos a la ingesta total de energía en la dieta de los mexicanos mayores de cinco años. *salud pública de méxico*, 62(2), 166-180.

[7] Cruz-Santacruz, R. (2022). La epidemia de obesidad en México: apuntes para su estudio desde la historia social y el pensamiento genealógico. *Inter disciplina*, 10(28), 465-506.

[8] López-Aranda, E.; Mejía-Morales, C.; Romero-Cruz, A.; Luna-Esquivel, N.o; Escamilla-Ramírez, R.; Pacheco-Contreras, V.I. (2023). Evaluación del estado de madurez y la concentración de cloruro de calcio sobre la cinética de transferencia de masa y las características organolépticas del *Mangifera indica* L. cv. Manillilla criolla. *Revista Ingeniantes*, 10(2), 20-28.

[9] Afifa, K., Kamruzzaman, M., Mahfuza, I., Afzal, H., Arzina, H., & Roksana, H. (2014). A comparison with antioxidant and functional properties among five mango (*Mangifera indica* L.) varieties in Bangladesh. *International Food Research Journal*, 21(4), 1501.

[10] Aslam, H.K.W., Raheem, M.I.U., Ramzan, R., Shakeel, A., Shoaib, M., & Sakandar H.A. (2014). Utilization of mango waste material (peel, kernel) to enhance dietary fiber content and antioxidant properties of biscuit. *J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci*, 2(2), 76-81.

[11] García-Méndez, A. D., & Pacheco de Delahaye, E. (2007). Evaluación de galletas dulces tipo wafer a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* B.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 60(2), 4195-4212.

[12] López-Aranda, E., Pérez-Arzo, S., Gabilán-Linares, E., Romero-Cruz, A., & Luna-Esquivel, N. (2024). Polvo de subproductos de mango criollo: Una fuente potencial de antioxidantes y fibra dietética en las preparaciones de galletas. *Revista IPSUMTEC*, 7(2), 1-10.

[13] Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A. & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199-207.

[14] AOAC. (1995). Official Methods of Analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

[15] Secretaría de Economía. (1982, octubre 7). Norma oficial mexicana NMX-F-428-1982, Alimentos-Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza. Diario oficial de la federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=691922

[16] Soler-Martínez, O., Castillo Ruiz, Rodríguez-Castillejos, G., Perales-Torres, A., Ana Luisa González-

Pérez, A. L., Parra, L. F., & Meza, M. J. (2016). Implementación de un método enzimático-gravimétrico para la determinación de fibra dietaria soluble e insoluble en residuos de cacao. Sistema de trabajos de grado-Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga

[17] Benítez, B., Olivares, J., Ortega, M., Barboza, Y., Rangel, L., & Romero, Z. (2017). Formulación y evaluación fisicoquímica, microbiológica y sensorial de galletas enriquecidas con linaza como alimento funcional. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 36(4), 106-113. [fecha de Consulta 24 de Octubre de 2023]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55952806003>

[18] Asp, N., Johansson, C., & Siljeström, M. (1983). Rapid Enzymatic Assay of Insoluble and Soluble Dietary Fiber. *J. J. Agric. Food Chem*, 31, 476-482.

[19] Rojas-Bravo, M., Rojas-Zenteno, E.G., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Aguilar-Sánchez, R., Ruiz-López, I.I., & Ochoa-Velasco, C.E. (2019). A potential application of mango (*Mangifera indica* L. cv. manila) peel powder to increase the total phenolic compounds and antioxidant capacity of edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1584-1592

[20] Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.

[21] Ashoush, I.S & Gadallah M.G.E., (2011). Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in Biscuit. *Word Journal of Dairy & Food Sciences*, 6(1), 35-42

[22] Menon, L., Majumdar, S. D., Ravi, U. (2014). Mango (*Mangifera indica* L.) kernel flour as a potential ingredient in the development of composite flour bread. (2014). *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 5(1), 75-82

[23] Méndez, A. D. G., & de Delahaye, E. P. (2007). Evaluación de galletas dulces tipo wafer a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* B.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4195-4212.

[24] Rodríguez, G., Avellaneda, S., Pardo, R., Villanueva, E., & Aguirre, E. (2018). Pan de molde enriquecido con torta extruida de sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Química, reología, textura y aceptabilidad. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 199-208.

[25] Zuleta, Á., Binaghi, M. J., Carola Beatriz Greco, C.B., Aguirre, C., De la Casa, L., Tadini, C. & Ronayne - de Ferrer, P. A. (2012). Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(3).

[26] Obregón A., Contreras E, Muñoz A. M., Ayquipa, R. & Fernández, W. (2013). Evaluación sensorial y fisicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harinas de maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*). *Ciencia e Investigación*, 16(2).

[27] Chagman, P., Zapata H. & Gloria J. (2010). Sustitución parcial de harina de trigo *triticum aestivum* L. por harina de kiwicha *amaranthus caudatus* L., usando el método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Revista de la Sociedad Química del Perú.*, 76(4).

[28] Chirinos-Leal, W., Bracho-Espinoza, H., Torres-Ivamer, N. P. & Vargas N. (2017). Valor nutricional de panes elaborados con sustitución parcial de trigo (*Triticum vulgare*) por harina de tapioca (*Phaseolus lunatus* L). *Revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de Zulia.*, 40(1).

[29] García-Cisneros, M.A, García-Rivero A.E, Eusebio De La Cruz-Fernández, E. & Bardales-Azañero, J.R. (2023). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por puré de pituca (*Colocasia esculenta*) en la calidad del pan tipo francés. *Agroindustrial Science.*, 13(1).

[30] Lopez Paz, R. (2018). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*triticum aestivum* L.) por cáscara de mango (*mangifera indica* L.) var. kent en polvo sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas dulces. Tesis de Licenciatura. Universidad Privada Antenor Orrego.

[31] Noreña Merino, W. (2022). Elaboración de panes enriquecidos con fibra mediante sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum*) por harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la ciudad de Pucallpa. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional De Ucayali.

[32] Holguín Obregón, Boris Eleno, Vélez Navia & Nicolle Nathaly. (2020). Evaluación fisicoquímicas, sensoriales y reológicas por la sustitución parcial de harina de trigo con harina de quinoa y harina arroz integral precocido en productos de panadería. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil.

[33] Ajila, C. M., Leelavathi, K. U. J. S., & Rao, U. P. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319-326.

[34] Ajila, C.M., Aalami, M., Leelavathi, K., Rao P.U.J.S. (2010). Mango peel powder: a potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food and Emerging Technologies*, 11(), 219-224.

[35] Bandyopadhyay, K., Chakraborty, C., & Bhattacharyya, S. (2014). Fortification of mango peel and kernel powder in cookies formulation. *Journal of Academia and Industrial Research*, 2(12), 661-664

[36] Kaur, A. & Brar, J.K. (2015). Use of mango seed kernels for the development of antioxidant rich biscuit. *International Journal of Science and Research*, 78(96), 2319-7064.

[37] Ramirez-Maganda, J., Blancas-Benitez, F. J., Zamora-Gasga, V. M., García-Magaña, M. D. L., Bello-Perez, L. A., Tovar, J., & Sayago-Ayerdi, S. G. (2015). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (*Mangifera indica*) 'Ataulfo' processing by-product. *Food Research International*, 73, 117-123.

[38] Pathak, D., Majumdar, J., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). Characterization of physicochemical properties in whole wheat bread after incorporation of ripe mango peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10, 554-561.

[39] Sęczyk, L., Świeca, M., Dziki, D., Anders, A., & Gawlik-Dziki, U. (2017). Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls. *Food chemistry*, 214, 32-38.

Tabla de Roles de Contribución

Rol	Autor (es)
Conceptualización Supervisión Escritura - Preparación del borrador original	Erika López Aranda
Metodología Recursos	Jonathan Escamilla Castañeda
Conceptualización Administración del proyecto	Anabel Romero Cruz
Metodología Recursos Validación	Narciso Luna Esquivel
Redacción-Revisión Edición	y Rosalinda Escamilla Ramírez



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.