

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



“EFECTO DE LA INCOPORACIÓN DE *MORINGA OLEIFERA* SOBRE LA CALIDAD DE PAN INTEGRAL DE TRIGO Y CENTENO”

TRABAJO FIN DE GRADO

Marzo-2025

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Autora: Consuelo Belmar Moya
Tutora: Casilda Navarro Rodríguez de Vera
Co-tutora: Estrella Sayas Barberá



Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto titulado: Estudio preliminar de la optimización de alimentos para mejorar el bienestar de la mujer mediante la selección de nuevos ingredientes sostenibles (FOOD-WOM). Referencia: VIPROY23/28 y ha sido financiado por la Universidad de Miguel Hernández De Elche.



Efecto de la incorporación de *Moringa oleifera* sobre la calidad de pan integral de trigo y centeno

RESUMEN

La *Moringa oleifera* es una planta de rápido crecimiento, nativa del sur de Asia, reconocida por sus múltiples beneficios nutricionales. Todas sus partes (hojas, raíces, vainas, semillas y su correspondiente aceite) son comestibles y presentan propiedades bioactivas beneficiosas para la salud, empleadas con fines terapéuticos desde la antigüedad. En especial, las hojas de moringa poseen una elevada concentración de proteínas con todos los aminoácidos esenciales, vitaminas A, C y E, minerales (Ca, Fe, Mg, K) y antioxidantes naturales como carotenoides y tocoferoles. Esta composición ha promovido su aplicación en la fortificación de diversos alimentos, permitiendo que lleguen al consumidor sus beneficios nutritivos y funcionales. El objetivo de este estudio es analizar el efecto de la incorporación de hojas de *Moringa oleifera* en polvo en panes integrales de trigo y centeno. Para ello, se elaboraron cinco lotes con diferentes concentraciones de moringa (0%, 2,5%, 5%, 7,5% y 10%), y se llevaron a cabo determinaciones físicas, fisicoquímicas, químicas y sensoriales. La incorporación de moringa no tuvo un impacto significativo en la mayoría de los parámetros físicos ni en la humedad del pan. Sin embargo, sí influyó en las propiedades fisicoquímicas, como la textura, el pH y el color. A medida que aumentó la concentración de moringa, se observó una disminución en el pH y en los valores de los parámetros de color (L^* , a^* , b^* y C^*). El análisis sensorial mostró que, únicamente concentraciones pequeñas podrían considerarse viables desde un punto de vista organoléptico.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, centeno, color, textura, propiedades físicas

Effect of incorporating *Moringa oleifera* on the quality of wholemeal wheat and rye bread

ABSTRACT

Moringa oleifera is a fast-growing plant native to South Asia, recognised for its many nutritional benefits. All parts of the plant (leaves, roots, pods, seeds and their oil) are edible and have bioactive properties that are beneficial to health and have been used for therapeutic purposes since ancient times. In particular, moringa leaves have a high concentration of proteins with all essential amino acids, vitamins A, C and E, minerals

(Ca, Fe, Mg, K) and natural antioxidants such as carotenoids and tocopherols. This composition has promoted its application in the fortification of various foods, allowing its nutritional and functional benefits to reach the consumer. The aim of this study is to analyse the effect of incorporating *Moringa oleifera* leaves powder into wholemeal wheat and rye breads. For this purpose, five batches were prepared with different concentrations of moringa (0%, 2.5%, 5%, 7.5% and 10%), and physical, physicochemical, chemical and sensory determinations were carried out. The incorporation of moringa did not have a significant impact on most of the physical parameters and moisture content of the bread. However, it did influence physicochemical properties such as texture, pH and colour. As the moringa concentration increased, a decrease in pH and colour parameter values (L^* , a^* , b^* and C^*) was observed. Sensory analysis showed that only small concentrations could be considered viable from an organoleptic point of view.

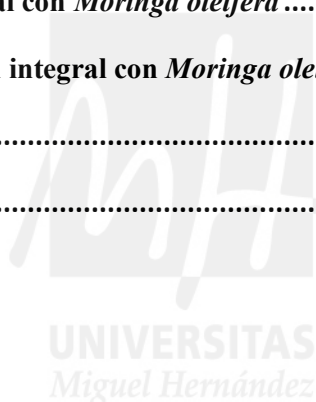
Keywords: *Moringa oleifera*, rye, colour, texture, physical properties



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Generalidades de <i>Moringa oleífera</i>	8
1.1.1. Caracterización de la especie	8
1.1.2. Características nutricionales, usos y aprovechamiento	10
<i>Hojas</i>	11
<i>Raíces</i>	13
<i>Semillas</i>	13
<i>Vainas</i>	13
<i>Flores, tallos y brotes</i>	14
1.2. Panificación	14
1.3. Importancia económica del sector de panadería: distribución y consumo	16
1.4. Aplicaciones y usos de <i>Moringa oleífera</i> en alimentos	17
2. OBJETIVOS.....	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Materias primas	20
3.1.1. Hojas de <i>Moringa oleífera</i>	20
3.1.2. Materias primas para la elaboración del pan.....	20
3.2. Diseño experimental	21
3.3. Elaboración del pan.....	21
3.4. Determinaciones de las características físicas	23
3.4.1. <i>Registro gráfico</i>	23
3.4.2. <i>Determinación del número de alveolos</i>	23
3.4.3. <i>Altura máxima de la rebanada</i>	23
3.4.4. <i>Coefficiente de elevación</i>	23
3.4.5. <i>Volumen aparente y volumen específico</i>	23
3.4.6. <i>Porcentaje de miga</i>	24
3.5. Determinaciones fisicoquímicas.....	24

3.5.1. <i>Actividad de agua (A_w)</i>	24
3.5.2. <i>pH</i>	24
3.5.3. <i>Color</i>	25
3.5.4. <i>Análisis de perfil de textura (TPA)</i>	25
3.6. Determinación de la humedad	25
3.7. Análisis sensorial	25
3.8. Análisis estadístico	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Propiedades físicas de pan integral con <i>Moringa oleifera</i>	27
4.2. Propiedades fisicoquímicas de <i>Moringa oleifera</i> y de pan integral con <i>Moringa oleifera</i>	29
4.3. Humedad de pan integral con <i>Moringa oleifera</i>	35
4.4. Análisis sensorial de pan integral con <i>Moringa oleifera</i>	36
5. CONCLUSIONES	40
6. BIBLIOGRAFÍA	41



1. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por consumir productos que no sean solo novedosos, sino que también ofrezcan ventajas nutricionales significativas, ha impulsado el desarrollo de nuevas propuestas de alimentos saludables. Además, la demanda de opciones que integren ingredientes con propiedades bioactivas, capaces de mejorar la calidad nutricional y funcional de los productos, ha aumentado considerablemente. Para que los alimentos fortificados sean eficaces, deben ser consumidos de manera adecuada por una proporción significativa de la población objetivo. Asimismo, el fortificante debe estar fácilmente disponible, ser accesible y presentar una alta biodisponibilidad en el alimento, sin alterar de manera significativa sus atributos sensoriales (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018).

En este contexto, *Moringa oleifera* se ha destacado como una de las especies vegetales más prometedoras en el campo de la fortificación de alimentos debido a su elevado contenido de nutrientes esenciales. Esta planta sobresale por su riqueza en proteínas, vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales, lo que la convierte en una alternativa eficaz para mejorar la calidad nutricional de una amplia variedad de productos (Hernández Rodríguez e Iglesias Marichal, 2022). A lo largo de los años, la moringa ha sido incorporada en diversos tipos de alimentos, incluyendo productos cárnicos, lácteos y de panadería, con el objetivo de aprovechar sus beneficios nutricionales y funcionales. Además, en los últimos años se ha observado un incremento en el número de consumidores que buscan una alimentación más sostenible y saludable. En este sentido, otro de los atributos destacados de la moringa es su cultivo sostenible, ya que contribuye a la conservación del medioambiente, lo que añade un valor adicional para aquellos consumidores conscientes del impacto ambiental de sus elecciones alimentarias (Trigo Guzmán, 2020).

1.1. Generalidades de *Moringa oleifera*




1.1.1. Caracterización de la especie

Moringa oleifera pertenece a la familia *Moringaceae*. Este género está constituido por 13 especies (*M. hildebrandtii*, *M. borziana*, *M. arbórea*, *M. drouhardii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. rivae*, *M. corcanensis*, *M. ruspoliana*, *M. stenopetala*, *M. peregrine*, *M. pygmaea*, *M. oleifera*) siendo *Moringa oleifera* la especie más ampliamente distribuida y cultivada (Hernández *et al.*, 2022). La clasificación taxonómica de *Moringa oleifera* es la siguiente:

El cultivo se puede realizar mediante siembra directa, trasplantes o esquejes. Su producción y manejo son relativamente sencillos, ya que se propaga con gran facilidad a través de medios sexuales y asexuales. Además, una vez plantada, no requiere una alta demanda de nutrientes del suelo ni de agua (Chepote Cavero, 2018).

La **Tabla 2** muestra una descripción de las distintas partes de la planta de *Moringa oleifera* (hojas, raíz, semillas, flores y vainas).

Tabla 2. Descripción de las partes de la planta (Fuente: Chepote Cavero, 2018; Taher *et al.*, 2017; Trigo Guzmán, 2020)

Hojas	Raíz	Semillas	Flores	Vainas
				
Hojas compuestas, alternas, sin estípulas, caducas, tripinnadas, con folíolos opuestos y enteros. Por lo general, miden entre 25-60 cm.	Raíz pivotante, gruesa y carnosa.	Semillas de color pardo oscuro, carnosas y aladas de 2,5 a 3 mm de largo.	Flores bisexuales, con pétalos blancos y estambres amarillos.	Frutos dehiscentes y lineales, de 20 a 45 cm de longitud, que contienen de 12 a 35 cada uno.

1.1.2. Características nutricionales, usos y aprovechamiento

Moringa oleifera es conocida desde la antigüedad por sus propiedades curativas, que se le atribuyen para el tratamiento de diversas afecciones y su consumo está arraigado en la cultura popular de muchos países (Doménech Asensi *et al.*, 2017). Además, contribuye a mejorar el estado nutricional en países en vías de desarrollo (Trigo Guzmán, 2020).

Todas las partes de la moringa (hojas, raíces, vainas, flores, semillas y su correspondiente aceite) son comestibles y presentan propiedades bioactivas beneficiosas para la salud (Sharma, *et al.*, 2022). Sin embargo, cada parte presenta una composición diferente en compuestos fitoquímicos, por lo que es importante analizarlas individualmente.

Hojas

Diversos estudios han demostrado que las hojas de *Moringa oleifera* presentan un contenido proteico excepcionalmente alto en comparación con otras hojas comestibles (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018). Según Sánchez-Peña *et al.* (2013), análisis realizados en las hojas de moringa han demostrado que el 30% de su peso seco está constituido por proteínas. Además, las hojas de moringa apenas aportan calorías y contienen minerales como calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg) y potasio (K), así como vitaminas A, C y E, y antioxidantes naturales como carotenoides o tocoferoles (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018; Miranda y Orozco Piura, 2019). También contienen aminoácidos, entre ellos arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, metionina, treonina, triptófano y valina (Hernández Rodríguez e Iglesias Marichal, 2022).

Las hojas frescas se emplean tanto en la alimentación humana como en la animal (Trigo Guzmán, 2020), y también se les atribuyen aplicaciones medicinales (Bancesi *et al.*, 2020). En la alimentación humana, pueden consumirse frescas en ensaladas, en currys de verduras o como sazón; también se cocinan en sopas y salsas (Trigo Guzmán, 2020). Por otro lado, las hojas secas se utilizan principalmente para enriquecer nutricionalmente los alimentos. Para obtener hojas secas en polvo, se recomienda separar las hojas más maduras de sus tallos leñosos y fibrosos (Paredes Labajos, 2023). Este polvo puede emplearse para mejorar el valor nutricional de distintos alimentos y puede conservarse durante varios meses a temperatura ambiente sin pérdida significativa de sus propiedades nutricionales (Srinivasamurthy *et al.*, 2017).

Tabla 3. Composición de las hojas de moringa frescas, secas y en polvo por cada 100 gramos de parte comestible (Fuente: Lakshmipriya *et al.*, 2016)

COMPOSICIÓN			
Componentes	Hojas frescas	Hojas secas	Hojas en polvo
Calorías (cal)	92	329	205
Carbohidratos (g)	12,5	41,2	38,2
Grasa (g)	1,7	5,2	2,3
Fibra (g)	0,9	12,5	19,2
Proteína (g)	6,7	29,4	27,1

Tabla 4. Aminoácidos de las hojas de moringa frescas y secas por cada 100 gramos de parte comestible

(Fuente: Miranda y Orozco Piura, 2019)

AMINOÁCIDOS		
Tipos	Hojas frescas (mg)	Hojas secas (mg)
Arginina	406,6	1325
Histidina	149,8	613
Isoleucina	299,8	825
Leucina	492,2	1950
Lisina	342,4	1325
Metionina	117,7	350
Fenilalanina	310,3	1388
Treonina	117,7	1188
Triptófano	107	425
Valina	37,5	1063

Tabla 5. Vitaminas de las hojas de moringa frescas y secas por cada 100 gramos de parte comestible

(Fuente: Miranda y Orozco Piura, 2019)

VITAMINAS		
Vitaminas	Hojas frescas (mg)	Hojas secas (mg)
Vitamina A	6,8	18
Vitamina B1	0,21	2,6
Vitamina B2	0,05	20,5
Vitamina B3	0,8	8,2
Vitamina C	220	17,3
Vitamina E	-	113

Tabla 6. Micronutrientes de las hojas de moringa frescas y secas por cada 100 gramos de parte comestible

(Fuente: Miranda y Orozco Piura, 2019)

MICRONUTRIENTES		
Minerales	Hojas frescas (mg)	Hojas secas (mg)
Calcio	440	2003
Cobre	1,1	0,6
Hierro	7,2	8,2
Magnesio	42	368
Fósforo	70	204
Potasio	259	1324
Zinc	0,16	3,3

Raíces

Las raíces se emplean en la alimentación humana como condimento ya que su sabor es similar al del rábano picante (Cervantes Martínez, 2018). También pueden utilizarse con fines medicinales, ya que algunos estudios (Mahmood *et al.*, 2010) han demostrado su eficacia en el tratamiento del lumbago.

Semillas

Ferrer Serrano *et al.* (2020) mencionan que las semillas son una fuente de aceite vegetal de alto rendimiento, con un elevado contenido en ácidos grasos. La semilla contiene un 40 % de aceite, el cual es de alta calidad, y se caracteriza por su baja viscosidad y su sabor dulce, con un 73 % de ácido oleico, similar al aceite de oliva (Cervantes Martínez, 2018). El aceite extraído de las semillas puede utilizarse en la alimentación humana y animal, así como en la industria cosmética y para fines medicinales (Trigo Guzmán, 2020).

Las semillas maduras se pueden tostar y consumirse como si fueran nueces (Cervantes Martínez, 2018). Según Islam, *et al.* (2021), diversos estudios han demostrado que las semillas de moringa actúan como agentes reductores del estrés oxidativo, la inflamación, la glucemia y la presión arterial.

El aceite y la cáscara de las semillas se han utilizado en la fabricación de productos cosméticos con propiedades exfoliantes y en la elaboración de champús (Zumalacárregui de Cárdenas y Ferrer Serrano, 2021). Además, presentan un gran potencial para la producción de biocombustibles (Haro Andí, 2023).

La harina de semillas se ha utilizado tanto en la alimentación animal como en la purificación del agua, gracias a su capacidad como floculante natural para la eliminación de sólidos en suspensión, sin dejar residuos tóxicos en el agua tratada. (Cohaila, 2023).

Vainas

Las vainas poseen un alto contenido de fibra dietética, un bajo nivel de lípidos y una cantidad significativa de ácidos grasos insaturados y esenciales, especialmente ácido oleico. Además, son una buena fuente de aminoácidos esenciales y se consumen, principalmente, hervidas o en guisos. Así pues, también se ha utilizado el agua de cocción de las vainas como tratamiento contra resfriados o gripes (Sesé Guillén, 2022). Generan aceite comestible caracterizado por ser resistente al enranciamiento y contienen compuestos fenólicos y flavonoides que le confieren la capacidad de ser antioxidante (Liu

et al., 2018). En la alimentación animal, se han utilizado las vainas como complemento proteico (Sesé Guillén, 2022).

Flores, tallos y brotes

Las flores contienen proteínas y vitaminas A, B y C (Viglione, 2024). Además, proporcionan cantidades significativas de calcio y potasio y se han utilizado principalmente para hacer té, aunque también pueden consumirse crudas, cocidas o fritas. Los tallos y brotes se destinan a la alimentación animal y también poseen efectos medicinales (Trigo Guzmán, 2020).

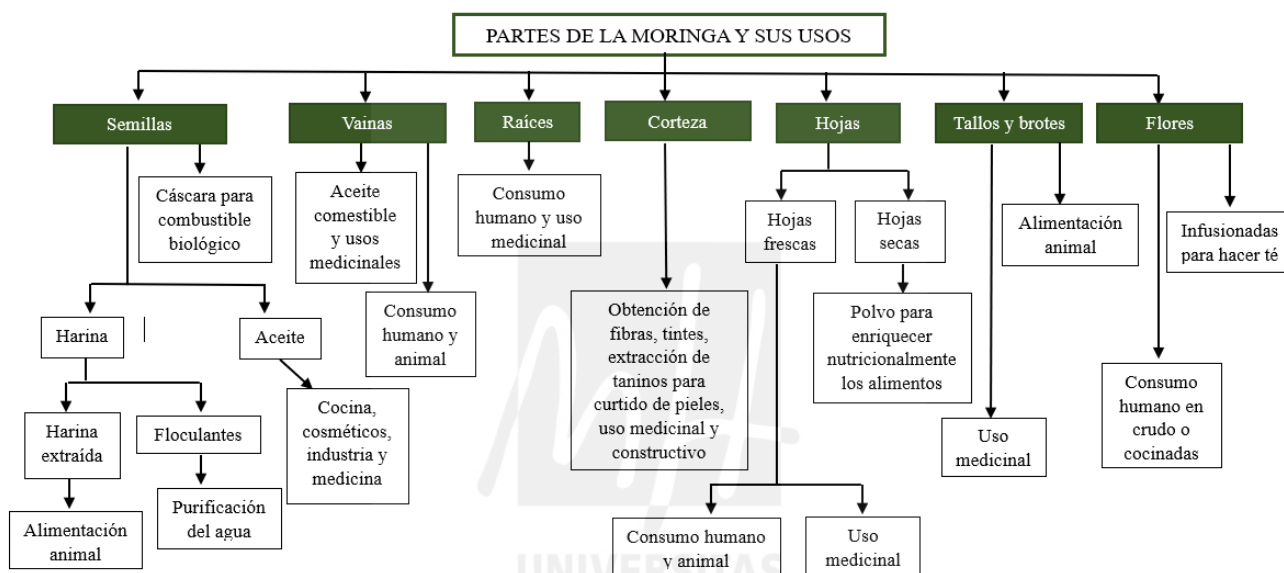


Figura 2. Esquema de las partes de la planta de *Moringa oleifera* y sus usos (Fuente: Trigo Guzmán, 2020)

1.2. Panificación

El pan es un alimento básico en la dieta de muchas personas a nivel mundial debido a su costo relativamente bajo y al alto contenido de energía, proteínas, fibra y nutrientes esenciales (Zarzycki *et al.*, 2024). Los ingredientes clave utilizados en la elaboración de pan son harina, agua, sal y levadura (Mesta-Corral *et al.*, 2024).

El tipo de harina y el agente leudante en la panificación juegan un papel esencial en la determinación de la calidad final del pan. En la industria de la panadería, la levadura es un agente leudante clave que aumenta el volumen de la masa mediante la producción de dióxido de carbono a través de la fermentación alcohólica de los azúcares (Zhang *et*

al., 2018). *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura predominante en la producción de alimentos, bebidas y productos de panificación (Avramenko *et al.*, 2018).

En comparación con la harina refinada, la harina integral destaca por su mejor perfil nutricional, ya que contiene un mayor contenido de fibra, micronutrientes y compuestos bioactivos. Esto se debe a que, cuando se muele el cereal para obtener la harina refinada, se eliminan las capas fibrosas de los granos, lo que supone una pérdida de macro y micronutrientes. Además, se ha demostrado que las harinas integrales están asociadas con un menor riesgo de desarrollar varias enfermedades crónicas no transmisibles, como enfermedades cardiovasculares, cáncer colorrectal, obesidad o diabetes (Venturi *et al.*, 2021).

Los granos enteros de diferentes cereales difieren en muchos aspectos, como el contenido de fibra y su composición nutricional (Iversen *et al.*, 2022). El trigo es uno de los cereales más importantes en el mundo debido a su alta producción, lo que lo convierte en un cereal muy asequible (Sakandar *et al.*, 2019). La harina de trigo (*Triticum aestivum*) se encuentra entre las más utilizadas en la industria panadera (Calvo-Carrillo *et al.*, 2020) debido a su alta capacidad panificable en comparación con otros granos y a su alto contenido de micronutrientes (Mesta-Corral *et al.*, 2024). Sin embargo, el centeno tiene el mayor contenido de fibra dietética entre los cereales, alcanzando generalmente el 20% de su materia seca, mientras que el trigo, la avena y la cebada contienen aproximadamente entre un 10 y un 15%, aunque el contenido de fibra varía ligeramente según la variedad y las condiciones de cultivo (Iversen *et al.*, 2022).

Se ha demostrado que los alimentos a base de centeno integral y ricos en fibra aumentan la sensación de saciedad (Forsberg *et al.*, 2014) y pueden contribuir a la pérdida de peso y reducción de la grasa corporal (Iversen *et al.*, 2021), en comparación con el consumo de trigo refinado. Además, el centeno se ha asociado con otros beneficios para la salud, como la reducción de los niveles de insulina postprandial (Rosén *et al.*, 2009) y la disminución del colesterol (Eriksen *et al.*, 2020).

El pan se ha convertido en un producto de gran interés para mejorar su perfil nutricional. Su valor nutritivo podría incrementarse si, por ejemplo, se incorporara a la formulación centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*) o avena (*Avena sativa*) (Dewettinck *et al.*, 2008). Además, la investigación actual sobre el pan se centra en su fortificación, que consiste en el enriquecimiento con nutrientes adicionales. Dentro de las

estrategias más destacadas de fortificación, se ha explorado la incorporación de diversos ingredientes de origen vegetal (Zarzycki *et al.*, 2024). Una de las ventajas de utilizar fuentes vegetales es su bajo costo (Man *et al.*, 2015), lo que las convierte en una alternativa accesible y viable para la industria alimentaria, permitiendo el desarrollo de productos más saludables sin un incremento significativo en los costos de producción. Mejorar el perfil nutricional de los productos consumidos por un amplio sector de la población es una estrategia esencial para satisfacer las demandas de los consumidores que buscan opciones más saludables y beneficiosas para la salud (Zarzycki *et al.*, 2024). En este contexto, el pan constituye un medio idóneo para la fortificación nutricional, ya que es un alimento universal y consumido por personas de todos los niveles socioeconómicos (Trigo Guzmán, 2020).

1.3. Importancia económica del sector de panadería: distribución y consumo

El sector de la panadería y pastas alimenticias es fundamental en nuestro país, ya que dota del mayor número de empresas y establecimientos con respecto al resto de sectores con 10.657 empresas, lo que representa un 38,2%. Le sigue el sector de fabricación de bebidas con 4.878 empresas (17,5%) y el sector de industria cárnica con 3.147 empresas (11,3%) (Tabla 7).

Tabla 7. Empresas y establecimientos en España según su actividad principal (1 de enero de 2024). (Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2024)

Nº DE EMPRESAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA POR SUBSECTORES (1 DE ENERO DE 2024)		
Subsectores	Nº	%
Industria cárnica	3.147	11,3
Industria del pescado	562	2,0
Preparación y conservación de frutas y hortalizas	1.292	4,6
Aceites y grasas	1.621	5,8
Productos lácteos	1.563	5,6
Molinería y almidones	350	1,3
Panadería y pastas alimenticias	10.657	38,2
Fabricación de otros productos alimenticios	3.113	11,2
Productos de alimentación animal	713	2,6
Fabricación de bebidas	4.878	17,5
Total Industria Alimentaria	27.896	100

1.4. Aplicaciones y usos de *Moringa oleifera* en alimentos

La moringa ha sido incorporada en diversos alimentos para mejorar sus propiedades bioactivas, con el objetivo de hacer llegar al consumidor sus beneficios nutritivos y funcionales (García Guisado, 2024). La **Tabla 8** muestra una recopilación de algunos alimentos fortificados con *Moringa oleifera* en los últimos 7 años.

En la industria de la panadería, la moringa se incorpora principalmente por sus beneficios nutricionales, mientras que en los productos cárnicos se utiliza con fines tecnológicos, actuando principalmente como antioxidante y/o conservante. El uso de moringa se reduce casi exclusivamente a productos cárnicos y de panadería (Doménech Asensi *et al.*, 2017). Sin embargo, también se ha observado su aplicación en productos lácteos como el kéfir (Guzmán *et al.*, 2023) o el yogurt (Shivanna *et al.*, 2024). Por su parte, López Gea (2019) menciona que la adición de extractos de plantas o hierbas durante el proceso de fermentación del yogurt puede estimular la actividad metabólica de las bacterias lácticas. Esto se traduce en una mayor producción de ácidos orgánicos, lo que provoca una disminución del pH. En su estudio, demostró que los compuestos presentes en la moringa favorecen el crecimiento de las bacterias ácido-lácticas durante los primeros 14 días de almacenamiento en frío. También se observó una mayor capacidad antioxidante.

Tabla 8. Alimentos fortificados con *Moringa oleifera*

Alimento	Parte vegetal	Dosis	Características beneficiosas	Referencia
Pan	Hoja en polvo	1%-10%	El perfil nutricional, mineral y antioxidante del pan suplementado mejoró significativamente	Khan <i>et al.</i> , 2023
Pan	Harina de semilla	1%-20%	Incremento del contenido de proteínas y fibra, junto con un mayor contenido graso que mejora la palatabilidad del producto, además de una reducción de la humedad, lo que prolonga su vida útil	Bolarinwa <i>et al.</i> , 2019
Barrita energética	Hoja en polvo	2,5%-10%	Aumento del contenido de proteínas, calcio y nutrientes y mejora de la actividad antioxidante	Eid <i>et al.</i> , 2025
Magdalenas	Hoja en polvo	1%-10%	Mejora nutricional del producto frente a la muestra control	Chinchilla Reyes, 2019
Galletas	Hoja en polvo	2%-3%	Incremento del contenido de carbohidratos, fibra y proteínas; además de	Rengifo Saldaña, 2020

			contribuir en el aporte de fósforo, calcio, hierro y vitamina C	
Kéfir	Hoja en polvo	1%	Aumento del contenido de proteína, fibra y cenizas	Guzmán <i>et al.</i> , 2023
Yogurt	Pulpa de vaina en polvo	0,5%-2%	Mejora de las propiedades antioxidantes, antidiabéticas y antihipertensivas	Shivanna <i>et al.</i> , 2024
Yogurt	Extracto acuoso de hojas	0,10%	Mayor contenido de compuestos fenólicos totales y mayor actividad antioxidante. Alternativa para enriquecer el crecimiento celular de las bacterias ácido-lácticas	López Gea, 2019
Salchichas de pollo	Aceite esencial	10µL-20µL	Inhibición del crecimiento microbiano	Francisco, 2021
Hamburguesas de cordero	Extracto de hojas	1%-5%	Aumento de proteínas, cenizas, compuestos fenólicos totales y flavonoides totales. Inhibición de la oxidación de lípidos y el crecimiento microbiano	Mashau <i>et al.</i> , 2021
Hamburguesas de cerdo	Hoja en polvo	1%-2%	Reducción de las pérdidas por cocción y aumento de la jugosidad	Padilla <i>et al.</i> , 2024

Se ha demostrado que la adición de semillas y hojas de moringa en polvo a la masa de pan elaborada con harina de trigo, sola o combinada con otras harinas, incrementa su valor nutricional (Chinma *et al.*, 2014; Bolarinwa *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2023). La hoja en polvo también se ha incorporado a diversos productos de panadería, como magdalenas (Chinchilla Reyes, 2019) y galletas (Rengifo Saldaña, 2020), así como a barritas energéticas (Eid *et al.*, 2025), con el fin de mejorar su valor nutricional.

Por otro lado, la industria de embutidos y productos cárnicos está sometida a una fuerte presión debido al uso de conservantes químicos, cuyo impacto en la salud de los consumidores genera preocupación (Francisco, 2021). Como respuesta, ha surgido una tendencia en la industria alimentaria hacia el uso de sustancias antimicrobianas y antioxidantes de origen natural para conservar los productos. En este contexto, diversos estudios han evaluado el potencial de la moringa en productos cárnicos. Francisco (2021) analizó el uso del aceite esencial de moringa en salchichas de pollo, Mashau *et al.* (2021) incorporaron extracto de sus hojas en hamburguesas de cordero, y Al-Juhaimi *et al.* (2016) añadieron harina de sus semillas en hamburguesas de ternera. En todos los casos, se confirmó su efectividad como agente antimicrobiano y antioxidante. Asimismo, en el estudio de Padilla *et al.* (2024) se observó que la incorporación de moringa mejoró las

propiedades de cocción de hamburguesas de cerdo, reduciendo las pérdidas por cocción y aumentando la jugosidad. Sin embargo, afectó el color y, a concentraciones superiores al 1,5%, disminuyó la aceptación sensorial.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue analizar el impacto de la incorporación de hojas de *Moringa oleifera* en polvo en la formulación de panes integrales de trigo y centeno, con el fin de evaluar su viabilidad como ingrediente funcional. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar las modificaciones de las características físicas de las formulaciones de pan integral con distintas concentraciones de *Moringa oleifera*.
- Determinar las variaciones de las propiedades fisicoquímicas de las formulaciones de pan en función del contenido en *Moringa oleifera*.
- Analizar el efecto de la concentración de *Moringa oleifera* en la humedad del pan integral.
- Realizar un análisis sensorial para evaluar la aceptación de los panes integrales con *Moringa oleifera* por parte de los consumidores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materias primas

3.1.1. Hojas de *Moringa oleifera*

En el presente estudio se utilizaron hojas de *Moringa oleifera* en polvo, procedentes de agricultura ecológica proporcionado por la empresa SOLNATURA (Vilassar de Mar, Barcelona, España) (**Figura 3**). La hoja de moringa en polvo presentó la siguiente composición: 31,1% de fibra; 23,1% de proteínas; 19,12% de hidratos de carbono; 4,7% de grasas; y 0,32% de sal (datos del fabricante).



Figura 3. Hojas de *Moringa oleifera* en polvo empleadas para las diferentes formulaciones de pan

3.1.2. Materias primas para la elaboración del pan

El pan fue elaborado a través de un preparado comercial (**Figura 4**) y agua. El preparado comercial de la marca Lidl presentó la siguiente composición: 74,4% de harina integral de trigo y 24,8% de harina integral de centeno, 0,93 % de sal, levadura deshidratada, malta de cebada, ácido ascórbico y monoestearato de sorbitano.



Figura 4. Preparado comercial para pan empleado para las diferentes formulaciones de pan integral

3.2. Diseño experimental

Se elaboraron cinco tipos de panes integrales con diferentes concentraciones de moringa: lote control (0% moringa), lote 2,5% (2,5% moringa), lote 5% (5% moringa), lote 7,5% (7,5% moringa) y lote 10% (10% moringa). En todos los lotes se utilizó una fórmula básica, según las indicaciones del fabricante del preparado comercial utilizado, a los que se le incorporó las hojas de moringa en polvo a los % señalados. En la **Tabla 9** se resumen los ingredientes utilizados en cada lote.

Tabla 9. Formulaciones utilizadas para la elaboración de los diferentes lotes de pan integral.

<i>Materias primas</i>	<i>Pan 0%</i>	<i>Pan 2,5%</i>	<i>Pan 5%</i>	<i>Pan 7,5%</i>	<i>Pan 10 %</i>
Preparado para pan (g)	500	500	500	500	500
<i>Moringa oleifera</i> (g)	0	12,5	25	37,5	50
Agua (mL)	350	350	350	350	350

Una vez elaborado el pan, y enfriado a temperatura ambiente, se determinaron sus características físicas (registro gráfico y determinación del número de alveolos; altura máxima de la rebanada; coeficiente de elevación; volumen aparente y volumen específico; y porcentaje de miga), sus propiedades fisicoquímicas (pH, actividad de agua, parámetro de color CIEL*a*b* y análisis de perfil de textura (TPA)), el análisis proximal (% humedad) y el análisis sensorial.

3.3. Elaboración del pan

Para la elaboración del pan se utilizó una Thermomix (Vorwerk TM31) para las etapas de pesado, mezclado y amasado. Se utilizó la velocidad de amasado durante un periodo de 5 minutos, garantizando una homogeneización adecuada de la masa. Posteriormente, se procedió a una etapa adicional de amasado manual de 5 minutos, seguido del boleado de la masa, lo que dio inicio a la primera fermentación. Al cabo de 30 minutos, la masa se depositó en moldes específicos para su reposo durante 1 hora a temperatura ambiente, dando lugar a la segunda fermentación. Finalmente, se horneó la masa en un horno (Electrolux Air-O-Steam, Suecia) durante 50 minutos a una temperatura de 200°C. Una vez a temperatura ambiente, los panes elaborados fueron analizados. Se realizaron dos elaboraciones independientes. Se obtuvieron rebanadas de 2 cm de grosor

(aproximadamente 14 rebanadas por pan). Las cortezas de los laterales no se utilizaron para realizar las determinaciones.



Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de los panes

3.4. Determinaciones de las características físicas

Se utilizaron métodos convencionales para evaluar las características físicas del pan (Olakanmi et al., 2023).

3.4.1. Registro gráfico

El registro gráfico se realizó colocando dos rebanadas de pan de cada lote, de aproximadamente 2 cm de grosor, sobre un fondo blanco y tomando fotografías de corte transversal.

3.4.2. Determinación del número de alveolos

Para determinar el número de alveolos se observaron los ojos de la miga (dispersión y tamaño), se seleccionó una zona de la rebanada (5x5cm) y se contaron los alveolos. Este análisis se realizó por duplicado.

3.4.3. Altura máxima de la rebanada

La altura máxima de la rebanada, de 2 cm de grosor aproximadamente, se determinó con un pie de rey digital, tomando la medida en el centro de la muestra. Esta determinación se realizó por duplicado, analizando dos rebanadas de cada formulación.

3.4.4. Coefficiente de elevación

Para determinar el coeficiente de elevación (CE) de cada rebanada de pan de 2 cm de grosor, se dividió el diámetro mayor del pan (sección transversal) sobre la altura del mismo ($CE = d/h$). Para su medición se utilizó un pie de rey digital. Esta determinación se realizó por duplicado.

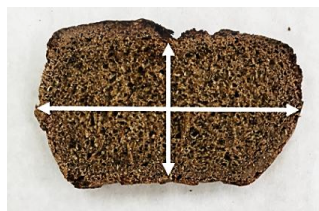


Figura 6. Medición del coeficiente de elevación

3.4.5. Volumen aparente y volumen específico

La determinación del volumen aparente se llevó a cabo por el método de desplazamiento de semillas de mijo (AACC, 2000). Una vez conocido el volumen aparente, se calculó el volumen específico del pan a través de la **Ecuación 1**:

$$\text{Volumen específico (VE)} = \frac{v}{m} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde: v= volumen desplazado (cm³) y m= peso del pan (g).

3.4.6. Porcentaje de miga

Para determinar el porcentaje de miga de una rebanada de pan, primero se pesó la rebanada completa con un grosor aproximado de 2 cm. Luego, se separó la corteza y se volvió a pesar únicamente la parte correspondiente a la miga. A partir de estos valores, se calculó la proporción de miga con respecto al peso total de la rebanada. Este análisis se realizó por duplicado para cada una de las formulaciones, utilizando una báscula digital.

3.5. Determinaciones fisicoquímicas

3.5.1. Actividad de agua (A_w)

La determinación de la actividad de agua (A_w) se llevó a cabo con el equipo Novasina (LabTouch-aw, Pfaffikon, Suiza) a temperatura ambiente. Este análisis se realizó por duplicado, tanto en las hojas de moringa en polvo como en las diferentes formulaciones de pan. Las medidas de las muestras se realizaron con unas cápsulas específicas para el aparato, llenándolas hasta la línea indicadora y con la cápsula destapada.



Figura 7. Equipo Novasina (LabTouch-aw, Pfaffikon, Suiza)

3.5.2. pH

Para la determinación del pH, se diluyeron 10 g de muestra con 90 ml de agua destilada y desionizada. Se determinó el pH de la suspensión mediante un pH-metro GLP 21 Crison (Eutech Instruments Pte Ltd., Singapur), previamente calibrado. Se realizaron dos repeticiones tanto para las hojas de moringa en polvo como para cada una de las formulaciones.

3.5.3. Color

Para las mediciones de color se utilizó un colorímetro Minolta CM-700d (Minolta Camera Co, Osaka, Japón), utilizando D65 como iluminante y un observador 10°. Se determinaron las coordenadas de color CIEL*a*b*, y las magnitudes psicofísicas tono (h*) y croma (C*). La coordenada L* representa la luminosidad de la muestra con valores de 0 para el negro y 100 para el blanco, mientras que a* hace referencia a la coordenada que va de rojo (+) a verde (-) y b* a la coordenada que va de amarillo (+) a azul (-). Los parámetros croma (C*) y tono (h*) hacen referencia a la saturación y al tono, respectivamente. Se analizaron 7 diferentes puntos en la periferia de cada muestra, tanto en la miga como en la corteza.

3.5.4. Análisis de perfil de textura (TPA)

El análisis de perfil de textura se realizó, a temperatura ambiente, con un texturómetro TA-XTSi (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra), empleando como sonda un plato de compresión de 100mm, donde la muestra se sometió a dos ensayos de doble compresión. La medición se realizó en el centro de las rebanadas de pan, evitando la región próxima a la corteza. Se midieron los siguientes parámetros: dureza (g), adhesividad (g.sec), elasticidad (mm), cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia. Se realizaron seis repeticiones para cada una de las formulaciones.

3.6. Determinación de la humedad

El contenido de humedad fue evaluado según lo descrito en el método de la AOAC 925.10 (AOAC, 2010). Las determinaciones se realizaron por duplicado y los resultados se obtuvieron por diferencia de peso y se expresaron en g agua/100g de muestra.

3.7. Análisis sensorial

Se realizó una prueba sensorial a 27 catadores no entrenados compuestos por personal y estudiantes de la Universidad Miguel Hernández. Los catadores evaluaron cada muestra mediante una escala hedónica con 7 categorías (**Tabla 10**), a través de un formulario *online* al cual se accedía a través de un código QR. Durante la prueba, se dieron a probar porciones de cada lote (2x2x2 cm) identificadas con cifras de tres números al azar (**Figura 8**). Las características organolépticas evaluadas de cada muestra fueron:

apariciencia, color, olor, textura, sabor y valoración global. Además, se les preguntó a los catadores la muestra que más les gustó y la que menos.

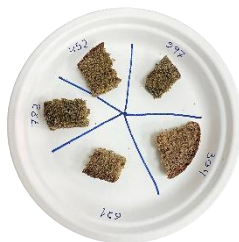


Figura 8. Prueba sensorial de muestras de pan integral con diferentes concentraciones de *Moringa oleifera*

Tabla 10. Escala hedónica de 7 categorías

Escala	Categoría						
Percepción del atributo	Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta ligeramente	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente
Valor asignado	1	2	3	4	5	6	7

3.8. Análisis estadístico

Se determinaron medias y desviaciones estándar para todos los parámetros estudiados. Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas del efecto de la formulación de las muestras utilizando el programa informático SPSS versión 29 para Windows (IBM, Chicago, USA.). Se realizó una comparación de medias usando el test de Tukey para determinar entre qué niveles del factor considerado las diferencias fueron significativas ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades físicas de pan integral con *Moringa oleifera*

En la **Tabla 11** se muestran las propiedades físicas de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con hojas de *Moringa oleifera* en polvo (0%, 2,5%, 5%, 7,5% y 10%). Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) en el número de alveolos y en el porcentaje de miga. No se observaron diferencias significativas en la altura máxima de la rebanada, coeficiente de elevación, volumen aparente y volumen específico. Esto indicaría que la moringa podría incorporarse como ingrediente potencialmente funcional sin alterar la mayoría de las propiedades físicas del pan integral.

Tabla 11. Resultados de las propiedades físicas de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con hojas de moringa en polvo

<i>Determinaciones</i>	<i>Porcentaje de hojas de Moringa oleifera en polvo</i>				
	<i>0%</i>	<i>2,50%</i>	<i>5%</i>	<i>7,50%</i>	<i>10%</i>
Altura máxima rebanada (cm)	75,80 ± 3,81a	70,60 ± 2,96a	76,45 ± 0,91a	67,90 ± 4,80a	65,85 ± 0,49a
Número de alveolos (5x5 cm)	7,00 ± 1,41ab	10,00 ± 1,41a	8,00 ± 1,41ab	6,50 ± 0,70ab	4,50 ± 0,70b
Coeficiente de elevación	1,71 ± 0,17a	1,78 ± 0,07a	1,62 ± 0,02a	1,53 ± 0,03a	1,48 ± 0,01a
Porcentaje de miga (%)	76,06 ± 2,51ab	73,19 ± 2,75a	76,53 ± 0,14ab	81,99 ± 0,70ab	83,87 ± 3,65b
Volumen aparente (mL)	11,50 ± 2,12a	12,50 ± 3,53a	12,00 ± 2,82a	12,00 ± 1,41a	11,50 ± 2,12a
Volumen específico (cm ³ /g)	2,30 ± 0,42a	2,50 ± 0,70a	2,40 ± 0,56a	2,40 ± 0,28a	2,30 ± 0,42a

a-b Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las formulaciones

El porcentaje de miga fue mayor en las formulaciones con moringa en comparación con el control, excepto en el pan con un 2,5% de moringa. A partir de una concentración del 5%, se observa un aumento progresivo en el porcentaje de miga a medida que se incrementa la cantidad de moringa. Por otro lado, la formulación con un 2,5% de moringa mostró la mayor cantidad de alveolos, mientras que la formulación con un 10% de moringa presentó la menor cantidad. Esto sugiere que, a medida que aumenta la proporción de moringa en la formulación, la estructura de la miga se ve afectada, reduciendo la cantidad de alveolos. Estos resultados indicarían que la incorporación de moringa da lugar a una mayor cantidad de miga y a un menor número de alveolos en el pan. Las proteínas de gluten presentes en la harina están relacionadas con la capacidad de la masa para formar alveolos (Rodríguez Chirinos, 2021). Al añadir hojas de moringa en

polvo a la formulación del pan se puede haber debilitado la red de gluten, lo que podría haberse reducido la capacidad de la masa para retener gas durante la fermentación. A concentraciones bajas de moringa (2,5%), la red de gluten aún es lo suficientemente fuerte como para atrapar gas, generando más alveolos. En cambio, a concentraciones más altas ($\geq 7,5\%$), la moringa afecta significativamente la formación de gluten, reduciendo el número de alveolos.

En cuanto a la altura máxima de la rebanada y al coeficiente de elevación, no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$). Sin embargo, la formulación con un 10% de moringa presentó los valores más bajos en ambos parámetros, aunque no resultaran significativos. Según Vendrell Haya (2021), esto puede ser debido al efecto de las hojas de moringa en polvo en la masa, ya que la concentración de aminoácidos y el contenido de proteínas están relacionados con la capacidad de retener gas durante el horneado, lo que justificaría que las formulaciones con una mayor cantidad de moringa tengan un menor crecimiento en la altura en comparación con la muestra control.

Por lo que respecta al volumen aparente y al volumen específico, no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las distintas formulaciones. Sin embargo, en otros estudios, como en el de Bourekoua *et al.* (2018) y Sengeev *et al.* (2021) se observó una disminución significativa del volumen específico en el pan cuando se agregó una mayor cantidad de hojas de moringa en polvo.

4.2. Propiedades fisicoquímicas de *Moringa oleifera* y de pan integral con *Moringa oleifera*

En la **Tabla 12** se presenta la actividad de agua y el pH de las hojas de *Moringa oleifera* en polvo. En el estudio de Sandoval Micha (2020), el pH registrado para las hojas secas de moringa en polvo es de $5,74 \pm 0,01$, valor similar al obtenido en esta investigación. Este resultado puede indicar que las hojas de moringa en polvo presentan un leve grado de acidez. No obstante, la actividad de agua reportada por el mismo autor para las hojas de moringa en polvo es de $0,51 \pm 0,01$, cifra superior a la obtenida en el presente estudio.

Tabla 12. A_w y pH de hojas de *Moringa oleifera* en polvo

A_w	$0,388 \pm 0,01$
pH	$5,79 \pm 0,01$

En la **Tabla 13** se muestra la actividad de agua de las diferentes formulaciones de pan integral. La incorporación de hojas de moringa en polvo no presentó ningún impacto sobre la actividad de agua de las muestras ($P > 0,05$). Este resultado concuerda con el obtenido por Chinchilla Reyes (2019), donde se estudió la incorporación de hojas de moringa en polvo en magdalenas.

Tabla 13. A_w de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con *Moringa oleifera*

Determinación	Porcentaje de hojas de <i>Moringa oleifera</i> en polvo				
	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
A_w	$0,938 \pm 0,01a$	$0,939 \pm 0,01a$	$0,942 \pm 0,01a$	$0,941 \pm 0,01a$	$0,942 \pm 0,01a$

a-b Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las formulaciones

En cuanto al pH, existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) en todas las formulaciones (**Figura 9**), observándose una disminución progresiva del pH a medida que aumentaba la concentración de hojas de moringa en polvo en el pan. El pan control obtuvo el pH más alto mientras que el pH más bajo lo obtuvo el pan con 10% de moringa. Esta disminución del pH podría deberse al menor pH que presentan las hojas de moringa en polvo (**Tabla 12**), en comparación con el pan control y a su incremento en las formulaciones. Este resultado coincide con el de Peñalver *et al.* (2023), donde señalan

que los panes enriquecidos con moringa tuvieron valores de pH significativamente más bajos que los panes control. Además, estos autores destacaron una relación directa entre la disminución del pH y el aumento de la acidez titulable, lo que sugiere que la incorporación de hojas de moringa en polvo contribuye a incrementar la acidez del pan.

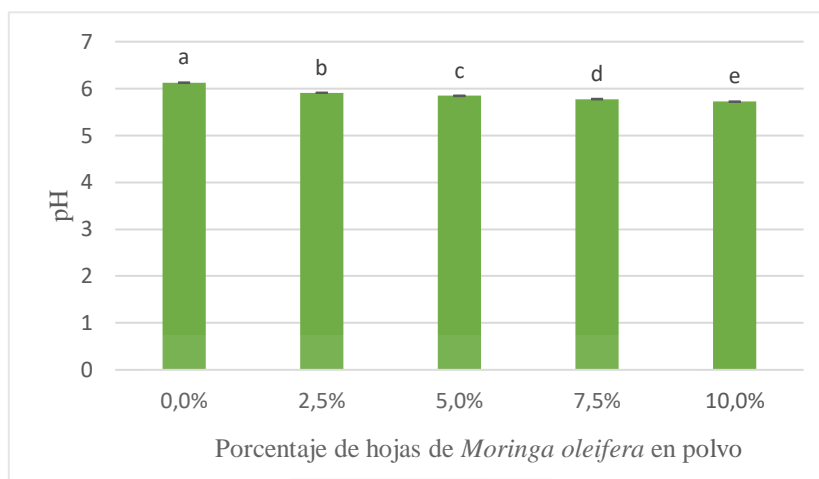


Figura 9. pH de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con *Moringa oleifera*

Los resultados obtenidos de los parámetros de color en las diferentes formulaciones de pan integral se muestran en la **Tabla 14**. La incorporación de hojas de moringa en polvo afectó a todos los parámetros de color ($P < 0,05$), excepto en el tono (h^*), tanto en la corteza como en la miga. La harina integral podría ser un buen vehículo para la incorporación de ingredientes vegetales con propiedades de color, ya que su color oscuro podría ayudar a enmascarar el color de la moringa. Sin embargo, en este estudio se evidenció que, a pesar del uso de harina integral, la incorporación de moringa generó modificaciones en los parámetros de color del pan. La variación en la coloración sugiere que, aunque la harina integral atenúa parcialmente la intensidad del color de la moringa (**Figura 11**), no logra neutralizar por completo su efecto sobre la matriz del pan.

La luminosidad (L^*) de la corteza fue mayor en la muestra control que en las muestras con la adición de hojas de moringa en polvo. Por lo que respecta a la miga, la luminosidad (L^*) también fue mayor en la muestra control, disminuyendo sus valores a medida que aumenta la concentración de moringa. Este resultado indicaría que la moringa tiene un efecto de oscurecimiento en el pan (**Figura 10**), tanto en la miga como en la corteza, debido al color verde oscuro que presentan las hojas de moringa en polvo. En el

estudio de Illana Romero (2017) también se observó una disminución de L* a medida que la concentración de harina de hojas de moringa se incrementaba en una pasta tipo lasaña.

Tabla 14. Resultados de los parámetros de color de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con hojas de moringa en polvo

		<i>Porcentaje de hojas de Moringa oleifera en polvo</i>				
		<i>0%</i>	<i>2,50%</i>	<i>5%</i>	<i>7,50%</i>	<i>10%</i>
Corteza	L*	36,65 ± 2,35a	29,48 ± 0,89b	31,82 ± 1,75b	31,35 ± 3,55b	31,93 ± 2,44b
	a*	9,57 ± 0,42a	7,53 ± 0,31b	7,49 ± 0,44bc	6,74 ± 0,77bc	6,95 ± 0,70c
	b*	10,09 ± 1,79a	1,96 ± 0,93b	4,45 ± 1,16c	3,85 ± 2,38bc	4,58 ± 2,20c
	h	46,13 ± 5,69a	14,27 ± 5,92a	30,27 ± 6,43a	71,95 ± 115,80a	31,52 ± 11,45a
	C*	13,97 ± 1,27a	7,82 ± 0,55b	8,75 ± 0,80b	7,99 ± 1,54b	8,45 ± 1,69b
Miga	L*	45,48 ± 1,65a	41,02 ± 0,39b	39,05 ± 0,51bc	38,04 ± 0,70bc	37,78 ± 0,49c
	a*	7,02 ± 0,27a	5,60 ± 0,20b	4,75 ± 0,20c	4,42 ± 0,22c	4,04 ± 0,17c
	b*	13,55 ± 0,48a	11,71 ± 0,39ab	10,98 ± 0,60b	10,09 ± 0,58b	9,80 ± 0,52b
	h	62,58 ± 1,54a	64,42 ± 0,62a	66,56 ± 1,14a	66,29 ± 1,05a	67,54 ± 0,57a
	C*	15,27 ± 0,37a	12,98 ± 0,42bc	11,96 ± 0,58cd	11,02 ± 0,59d	10,60 ± 0,54d

a-d Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las formulaciones

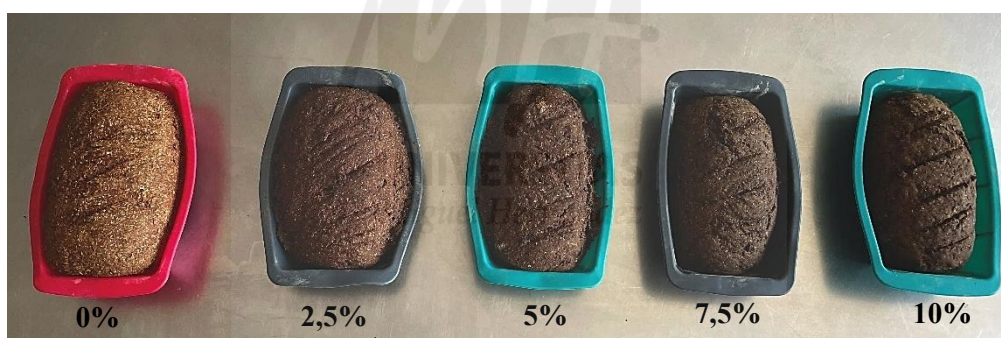


Figura 10. Imagen de los panes integrales elaborados con concentraciones distintas de *Moringa oleifera* (0%, 2,5%, 5%, 7,5% y 10%)

Para la coordenada rojo-verde (a*) se observa una disminución de sus valores debido a la incorporación de moringa, tanto en la corteza como en la miga, siendo esta disminución también dependiente de la concentración de hojas de moringa en polvo incorporadas. Peñalver *et al.* (2023), menciona que estos cambios de color en el pan se deben a la presencia de pigmentos de *Moringa oleifera*, particularmente debido al alto contenido de clorofila (1,46 mg/g) y al ser incrementada en las formulaciones, el color verde se intensifica.

La coordenada amarillo-azul (b^*) presenta valores más altos en la muestra control en comparación con las muestras suplementadas con moringa, tanto en la corteza como en la miga. Sin embargo, en la miga, la disminución de b^* es proporcional a la concentración de moringa incorporada. Por su parte, la disminución de b^* en la corteza es más pronunciada. El hecho de que en la corteza se observen mayores disminuciones de b^* que en la miga, podría estar relacionado con las reacciones de Maillard que se producen durante el horneado, así como se menciona en el estudio de Chinchilla Reyes (2019). Asimismo, este autor también observó una disminución significativa de los parámetros a^* y b^* conforme aumentó el porcentaje de moringa en magdalenas. Por otro lado, la saturación del color (C^*) es mayor en la muestra control que en las muestras con la adición de hojas de moringa en polvo, tanto en la corteza como en la miga. No obstante, la C^* en la miga disminuye de forma dependiente de la concentración de moringa incorporada.



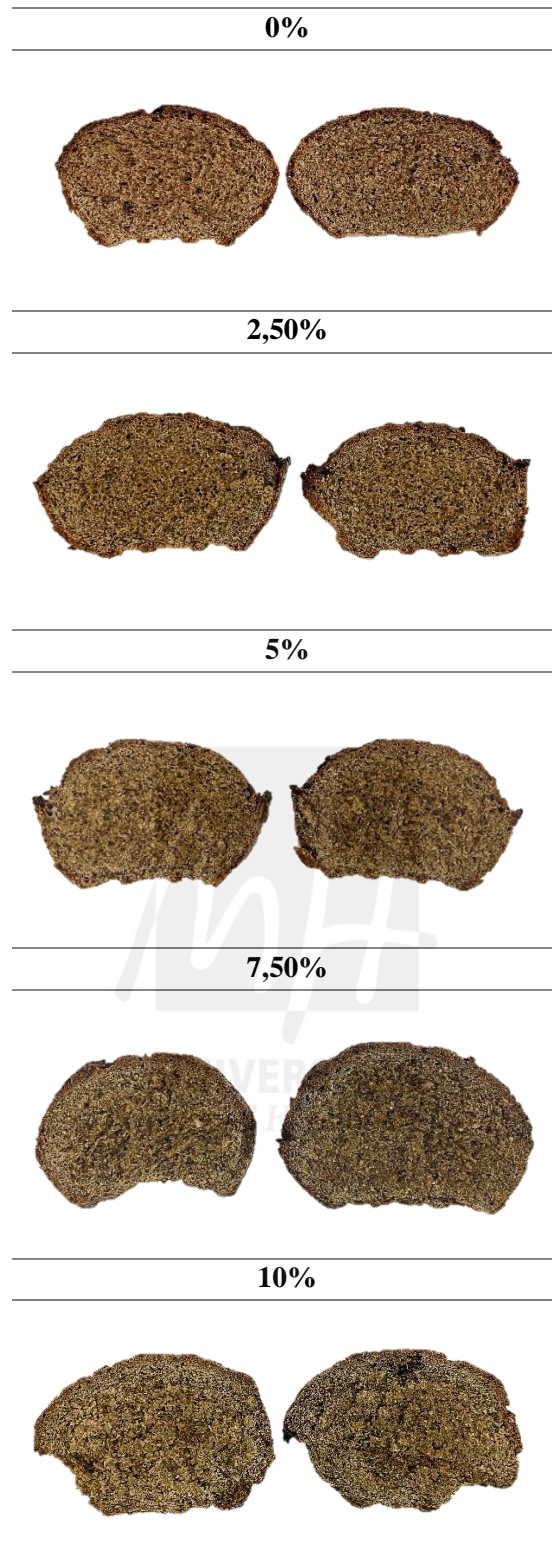


Figura 11. Imágenes de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con hojas de moringa en polvo

En la **Tabla 15** se presenta el análisis del perfil de textura de las formulaciones de pan integral elaborado con diferentes concentraciones de *Moringa oleifera*. Se puede observar que, existieron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados ($P<0,05$).

Tabla 15. Perfil de textura (TPA) del pan integral elaborado con diferentes concentraciones de *Moringa oleifera*

Parámetros	Porcentaje de hojas de <i>Moringa oleifera</i> en polvo				
	0%	2,50%	5%	7,50%	10%
Dureza (g)	789,40±117,96a	1183,59±157,13a	1873,56±399,36b	1824,89±394,44b	2174,57±322,10b
Adhesividad (g.seg)	-12,36±8,49a	-38,02±8,20ab	-26,51±25,44ab	-52,07±19,33b	-41,94±29,29b
Elasticidad (mm)	0,82±0,03a	0,82±0,02a	0,72±0,07ab	0,63±0,06b	0,60±0,06b
Cohesividad	0,72±0,02a	0,69±0,02ab	0,66±0,05ab	0,63±0,02b	0,58±0,06b
Gomosidad	597,62±89,92a	817,19±83,17ab	1232,71±257,01c	1159,40±225,58bc	1291,80±324,21c
Masticabilidad	489,68±65,01a	669,26±50,77ab	894,51±216,92b	741,84±208,63ab	865,48±273,55b
Resiliencia	0,35±0,01a	0,32±0,01ab	0,30±0,03bc	0,27±0,02cd	0,23±0,03d

a-d Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0,05$) entre las formulaciones

Los parámetros de dureza, gomosidad y masticabilidad presentaron valores más altos en las formulaciones con moringa en comparación con el control. Además, sus valores tienden a aumentar a medida que se incrementa la concentración de moringa, a excepción de la formulación con un 7,5%, que disminuyó en comparación con la de un 5%. Estos resultados concuerdan con los de Hernández Aguilar *et al.* (2021), quienes observaron que los valores de los parámetros de dureza y masticabilidad fueron más elevados en los panes que contenían moringa que en el control. Asimismo, el análisis sensorial del estudio de Ferreira *et al.* (2023) reveló que el pan con moringa tuvo una menor aceptabilidad en cuanto a su textura, señalando que fue consecuencia de un aumento de la dureza y la gomosidad, derivado de su alto contenido de fibra. La fibra absorbe agua y se hincha durante la cocción, lo que da como resultado una textura más firme y densa. Por lo tanto, la **Tabla 15** demuestra que, a medida que aumenta la dureza y la gomosidad del pan, también se incrementa la masticabilidad necesaria para su desintegración.

El parámetro de elasticidad disminuye sus valores conforme aumenta la concentración de moringa en el pan integral. Este resultado no coincide con el obtenido por Sánchez Ortiz *et al.* (2024), quienes afirman que la moringa aporta elasticidad al pan, definida como la tendencia de un alimento a volver a su altura original después de la

deformación. En cuanto al parámetro de adhesividad, éste fue mayor en el pan control que en los enriquecidos con moringa.

En cuanto al parámetro de resiliencia, se observó una disminución con la adición de hojas de moringa en polvo en la formulación del pan, resultado que concuerda con el obtenido por Sánchez Ortiz *et al.* (2024). Este autor menciona que el parámetro de resiliencia puede interpretarse como la capacidad de un alimento para recuperar su forma después de la deformación en términos de fuerza y velocidad. Por lo tanto, la formulación de pan con un 10% de moringa presenta menor resistencia a la deformación. Por otra parte, la cohesividad del pan disminuyó significativamente a medida que aumentaba la concentración de moringa en el pan. Este resultado coincide con el reportado por Chinchilla Reyes (2019), quien evaluó el efecto de las hojas de moringa en polvo en la formulación de magdalenas. Según Hernández Aguilar *et al.* (2021) la cohesividad determina el grado de deformación que un material puede soportar antes de romperse. Por lo tanto, la disminución de la cohesividad producida por la adición de moringa podría dar lugar a una mayor facilidad de desintegración de la muestra. Esto se observa en la **Figura 11**, en la imagen del pan con un 10% de moringa, donde se aprecia una textura más quebradiza y una menor integridad estructural.

4.3. Humedad de pan integral con *Moringa oleifera*

La **Tabla 16** muestra la humedad de las diferentes formulaciones de pan integral con *Moringa oleifera*.

Tabla 16. Humedad del pan integral elaborado con diferentes concentraciones de *Moringa oleifera*

<i>Determinación</i>	<i>Porcentaje de hojas de Moringa oleifera en polvo</i>				
	<i>0%</i>	<i>2,50%</i>	<i>5%</i>	<i>7,50%</i>	<i>10%</i>
Porcentaje de humedad (%)	42,10 ± 0,84a	40,93 ± 0,50a	40,47 ± 1,23a	40,91 ± 0,25a	39,38 ± 0,98a

a-b Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0,05) entre las formulaciones

Como podemos observar, se registra una disminución de la humedad tras la incorporación de moringa en el pan, aunque esta disminución no es estadísticamente significativa (P>0,05) entre las formulaciones. Diversos estudios han reportado una disminución de la humedad al añadir moringa en los alimentos. Por ejemplo, Rodríguez

Valera (2020) observó una reducción en la humedad a medida que aumentaba la concentración de hojas de moringa en polvo en fideos tipo tallarines. De manera similar, Sengev *et al.* (2021) también evidenciaron una disminución en la humedad del pan al incorporar moringa junto con la consiguiente extensión de la vida útil.

4.4. Análisis sensorial de pan integral con *Moringa oleifera*

La **Figura 12** representa los resultados del análisis sensorial de las diferentes formulaciones de pan integral.

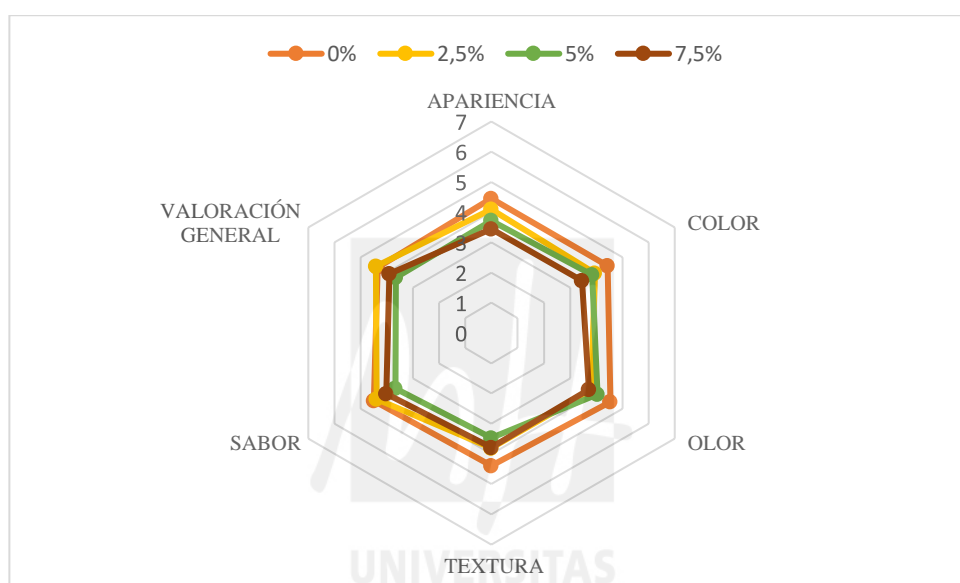


Figura 12. Resultados del análisis sensorial de las diferentes formulaciones de pan integral elaborado con *Moringa oleifera*

Aunque se evidencia una tendencia descendente en las puntuaciones de todos los atributos evaluados, a medida que aumenta la cantidad de moringa, las diferencias entre las distintas formulaciones no fueron estadísticamente significativas. Como podemos observar, la figura indica que las formulaciones de pan integral con concentraciones de hojas de moringa en polvo por encima de 2,5% obtuvieron los menores valores en los parámetros estudiados, siendo la muestra control la que tuvo las puntuaciones más altas.

La menor puntuación del color en las muestras que contenían moringa podría estar directamente relacionado, como se ha comentado anteriormente, con la disminución progresiva de la luminosidad (L^*) a medida que se incrementa la cantidad de moringa en la formulación del pan, así como con el color verde oscuro característico de las hojas de

moringa en polvo, tal como lo señalan otros autores (Sengev *et al.*, 2013). A medida que la proporción de moringa aumenta, la miga y la corteza del pan adquieren un color más oscuro y con matices verdosos, lo que podría haber influido en la valoración del color del producto y, en consecuencia, en su apariencia, así como también se observa en la **Figura 12**. No obstante, el tono oscuro del pan integral, atribuido al característico color chocolate del salvado, actúa como un excelente vehículo para enmascarar el color no deseado que aporta la moringa (Govender y Siwela, 2020). Así pues, aunque se observe una menor puntuación en el color y en la apariencia en las muestras con moringa, no existieron diferencias significativas respecto al control. De igual manera ocurre con el atributo sensorial del olor.

En lo que respecta al atributo sensorial del sabor, se observa que tanto la muestra control como la formulada con un 2,5% de moringa obtuvieron puntuaciones muy similares, las cuales son superiores a las demás muestras, aunque estas diferencias no resultaron ser significativas. La menor puntuación del sabor a las muestras que contienen altas concentraciones de moringa se debe, probablemente, al sabor herbáceo que aportan las hojas de moringa en polvo, así como ha sido observado en otros estudios (Ferreira *et al.*, 2023). Por otro lado, la valoración general fue evaluada de forma similar al atributo sensorial del sabor, obteniendo puntuaciones muy similares en la muestra control y en la suplementada con 2,5% de moringa, sin observarse diferencias significativas con las demás formulaciones.

En cuanto al atributo de textura, si relacionamos las puntuaciones obtenidas en el análisis sensorial con el análisis del perfil de textura de las diferentes formulaciones (**Tabla 15**), podemos observar que, la menor puntuación en las muestras que contenían moringa se puede deber a un aumento de la dureza conforme aumenta la cantidad de moringa en el pan. Además, la cohesividad del pan disminuye al aumentar la cantidad de moringa, lo que podría dar lugar a una mayor facilidad de desintegración de la muestra. Asimismo, el parámetro de resiliencia también disminuye, lo que puede provocar una mayor susceptibilidad a la deformación a medida que aumenta la cantidad de moringa. Sin embargo, a pesar de estos cambios en la textura, las diferencias en las valoraciones obtenidas en el análisis sensorial no fueron estadísticamente significativas, aunque en la **Figura 12** se observe menor puntuación en las muestras con moringa.

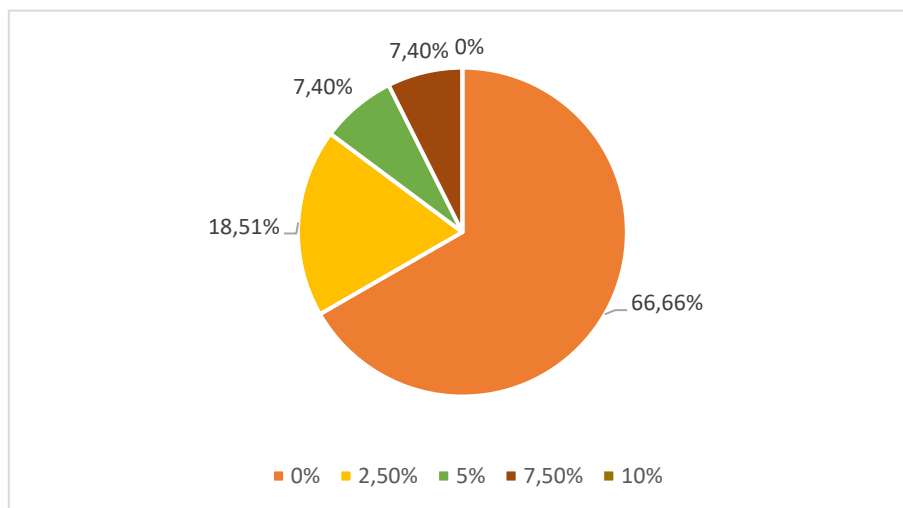


Figura 13. Muestra de pan integral con moringa con mayor aceptación por los catadores

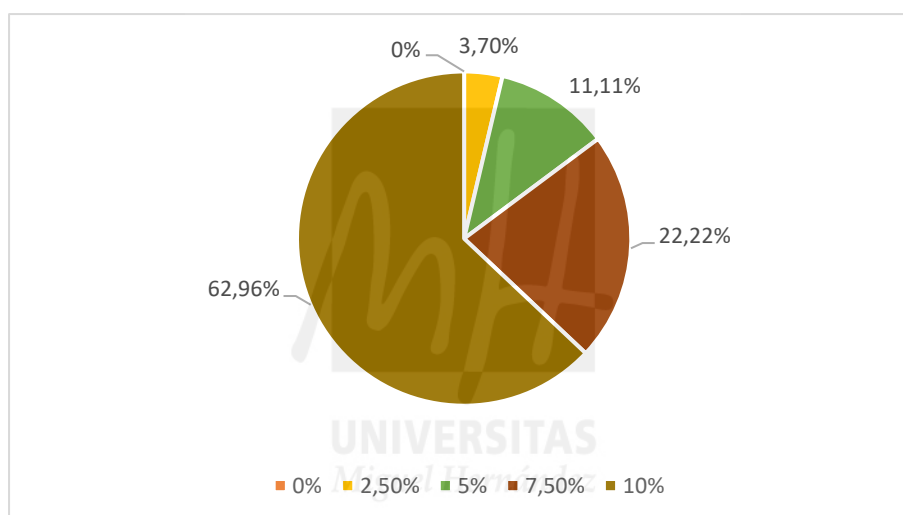


Figura 14. Muestra de pan integral con moringa con menor aceptación por los catadores

No obstante, es cierto que, de los cinco lotes de pan estudiados, la muestra preferida fue la control (0% hojas de moringa) por el 66,66% de los catadores, seguida por la muestra con 2,5% (**Figura 13**). Mientras que la muestra con un 10% de moringa resultó ser la que menos gustó a los catadores (**Figura 14**). Esto sugiere que, para mejorar la calidad sensorial y la aceptación por parte de los consumidores, las hojas de moringa en polvo deben incorporarse a la formulación del pan en bajas concentraciones, alrededor del 2,5%, para no generar un impacto negativo en la percepción de los atributos sensoriales. Este resultado era esperado, pues varios estudios han observado que las altas concentraciones de moringa pueden influir negativamente en las características sensoriales del producto (Khan *et al.*, 2023; Bourekoua *et al.*, 2018). Sin embargo, en este

trabajo no se han encontrado diferencias significativas en ningún atributo evaluado, lo cual resulta positivo.



5. CONCLUSIONES

- La incorporación de hojas de moringa en polvo no afectó a la mayoría de los parámetros físicos del pan, excepto al porcentaje de miga y al número de alveolos, aumentando la cantidad de miga y reduciendo el número de alveolos en el pan.
- Las propiedades fisicoquímicas se vieron alteradas por la adición de moringa en el pan, excepto la A_w . La moringa disminuyó el pH y modificó los parámetros de color en el pan, disminuyendo la luminosidad (L^*), así como las coordenadas a^* y b^* , y la magnitud psicofísica C^* . Estos cambios en los parámetros colorimétricos se deben al color verde oscuro que tienen las hojas de moringa en polvo. Todos los parámetros analizados en el análisis de perfil de textura (TPA) del pan integral se modificaron con la incorporación de moringa, destacando un aumento de la dureza, gomosidad y masticabilidad, así como una disminución de la resiliencia, cohesividad, elasticidad y adhesividad.
- Se registró una disminución de la humedad tras la incorporación de moringa en el pan, aunque esta disminución no es estadísticamente significativa ($P > 0,05$) entre las formulaciones.
- En cuanto a los atributos sensoriales evaluados (apariencia, color, olor, textura, sabor, valoración general), no hubo diferencias significativas entre los panes con distintas concentraciones de moringa. No obstante, la muestra preferida por los catadores fue la control, mientras que la formulada con un 10% de moringa fue la menos aceptada sensorialmente.
- Los resultados de este trabajo muestran que la *Moringa oleifera* podría ser utilizada como una posible estrategia para contribuir a la mejora en el valor nutricional del pan integral de trigo y centeno. Sin embargo, se observó que únicamente en concentraciones pequeñas, específicamente alrededor del 2,5%, existía posibilidad de que el producto pudiera considerarse aceptable desde un punto de vista sensorial. Se debe de continuar investigando para realizar cambios en la formulación y explorar estrategias para equilibrar los beneficios funcionales de la moringa con las preferencias sensoriales de los consumidores.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Hawashin, M. D., Alsawmahi, O. N., & Babiker, E. E. (2016). Effects of different levels of Moringa (*Moringa oleifera*) seed flour on quality attributes of beef burgers. *CyTA-Journal of Food*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1034784>
- American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. (2000) Approved Methods Committee of the American association of cereal chemists (Vol. 1).
- A.O.A.C. (2010). Official methods of analysis of AOAC International (18th ed.). AOAC International.
- Avramenko, N. A., Tyler, R. T., Scanlon, M. G., Hucl, P., & Nickerson, M. T. (2018). The chemistry of bread making: The role of salt to ensure optimal functionality of its constituents. *Food reviews international*, 34(3), 204-225. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1261296>
- Bancessi, A., Bancessi, Q., Baldé, A., & Catarino, L. (2020). Present and potential uses of *Moringa oleifera* as a multipurpose plant in Guinea-Bissau. *South African Journal of Botany*, 129, 206-208. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.013>
- Bolarinwa, I. F., Aruna, T. E., & Raji, A.O. (2019). Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.002>
- Bourekoua, H., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Dziki, D. (2018). Evaluation of physical, sensorial, and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with *Moringa oleifera* leaf powder. *European Food Research and Technology*, 244, 189-195. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2942-y>
- Calvo-Carrillo, M. D. L. C., López-Méndez, O. X., Carranco-Jáuregui, M. E., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.*). *Biotecnia*, 22(3), 116-124. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.1227>
- Cervantes Martínez, M. Á., Torres Hernández, M. A., Villaseñor Ramos, R. A., & Pérez Martínez, C. C. A. (2018). Características botánicas y uso del marango (*Moringa oleifera Lam.*).

- Chepote Cavero, M. A. (2018). Siembra del cultivo de Moringa (*Moringa oleifera*) en la pampa de Villacuri, Departamento de Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3223>
- Chinchilla Reyes, M. A. (2019). Magdalenas con polvo de hojas de Moringa (*Moringa oleifera*): mejora nutricional y aceptabilidad. <http://hdl.handle.net/10251/124742>
- Chinma, C. E., Abu, J. O., & Akoma, S. N. (2014). Effect of germinated tigernut and moringa flour blends on the quality of wheat-based bread. *Journal of food processing and preservation*, 38(2), 721-727 <https://doi.org/10.1111/jfpp.12023>
- Cohaila, M. A. C. (2023). Revisión sobre clarificación del agua y el uso de semillas de moringa, *Moringa oleifera* Lam. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 28(1), 169-189.
- Cornejo Rivas, P. M. (2023). *Evaluación de actividad tripanocida (Trypanosoma cruzi) del extracto metanólico de hojas maduras de Moringa oleifera (moringa) Lam* (Tesis doctoral, Universidad de El Salvador).
- García-Guisado, A., Navarro Rodríguez de Vera, C. & Sayas Barberá, E. (2024). La Moringa (*Moringa oleifera*) como ingrediente bioactivo en la elaboración de nuevos alimentos funcionales (Trabajo fin de máster, Universidad Miguel Hernández). Repositorio institucional de la Universidad Miguel Hernández. <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/34169/1/Libro%20de%20Actas%20CUISA%202024.pdf>
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>
- Doménech Asensi, G., Durango Villadiego, A. M., & Ros Berruezo, G. (2017). *Moringa oleifera*: Revisión sobre aplicaciones y usos en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2), 86-97.
- Eid, W. A., Azab, D. E. S. H., & Negm, S. H. (2025). Characterization of a novel date energy bar fortified with *Moringa oleifera* leaves powder. *Journal of Future Foods*, 5(3), 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.07.006>

- Eriksen, A. K., Brunius, C., Mazidi, M., Hellström, P. M., Risérus, U., Iversen, K. N., ... & Landberg, R. (2020). Effects of whole-grain wheat, rye, and lignan supplementation on cardiometabolic risk factors in men with metabolic syndrome: a randomized crossover trial. *The American journal of clinical nutrition*, *111*(4), 864-876. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa026>
- Etchevers Dabadie, M. C. (2021). Caracterización de parámetros fisicoquímicos de diferentes tipos de *Moringa oleifera*. <http://hdl.handle.net/10251/166464>
- Ferreira, T., Gomes, S. M., & Santos, L. (2023). Elevating Cereal-Based Nutrition: *Moringa oleifera* Supplemented Bread and Biscuits. *Antioxidants*, *12*(12), 2069. <https://doi.org/10.3390/antiox12122069>
- Ferrer Serrano, C., Zumalacárregui de Cárdenas, B., & Mazorra Mestre, M. (2020). Caracterización físico-química del aceite de semillas de *Moringa oleifera*. *Centro Azúcar*, *47*(4), 1-11.
- Forsberg, T., Åman, P., & Landberg, R. (2014). Efectos del pan crujiente de centeno integral para el desayuno sobre el apetito y la ingesta de energía en una comida posterior: dos ensayos controlados aleatorios con diferentes cantidades de alimentos de prueba y contenido energético del desayuno. *Revista de nutrición*, *13*, 1-9.
- Francisco, C. C. N. (2021). Capacidad antimicrobiana in vitro del aceite esencial de moringa (*moringa oleifera*) y su efecto sensorial en salchichas de pollo. (Tesis doctoral, Universidad Agraria del Ecuador).
- Govender, L., & Siwela, M. (2020). The Effect of *Moringa oleifera* Leaf Powder on the Physical Quality, Nutritional Composition and Consumer Acceptability of White and Brown Breads. *Foods*, *9*(12), 1910. <https://doi.org/10.3390/foods9121910>
- Guzmán, N. N., Ballestas, I., & Rico, C. G. (2023). Kefir de mango adicionado con moringa (*Moringa oleifera*) como aporte proteico. @ *limentech*, *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, *21*(1), 106-123. <https://doi.org/10.24054/limentech.v21i1.2366>
- Haro Andi, V. E. (2023). Elaboración de un biocombustible a partir del aceite extraído de las semillas de moringa (*Moringa oleifera*). Trabajo fin de grado. Escuela Superior

- Hernández, E. A., Abascal, V. L., Borges, R. M., Arana, O. E., García, K. G., Rivero, Y. H., & Jiménez, E. R. (2022). Evaluación farmacognóstica de extractos de hojas secas de *Moringa oleifera* Lam. del ecotipo criolla cultivada en Cuba. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 26(3).
- Hernández-Aguilar, C., Dominguez-Pacheco, A., Valderrama-Bravo, C., Cruz-Orea, A., Ortiz, E. M., Ivanov, R., & Ordonez-Miranda, J. (2021). Photoacoustic characterization of wheat bread mixed with *Moringa oleifera*. *Current Research in Food Science*, 4, 521-531. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.008>
- Hernández Rodríguez, J., & Iglesias Marichal, I. (2022). Efectos benéficos de la *Moringa oleifera* en la salud de las personas. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 38(1).
- Illana Romero, F. (2017). Efecto de las variables del proceso de elaboración sobre la calidad de pasta adicionada con *Moringa oleifera*. Trabajo fin de máster. Instituto Tecnológico de Veracruz (México). <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/2492/1/2017%20Illana%20Romero%20Fernando.pdf>
- Islam, Z., Islam, S. R., Hossen, F., Mahtab-ul-Islam, K., Hasan, M. R., & Karim, R. (2021). *Moringa oleifera* is a prominent source of nutrients with potential health benefits. *International Journal of Food Science*, 2021(1), 6627265. <https://doi.org/10.1155/2021/6627265>
- Iversen, K. N., Carlsson, F., Andersson, A., Michaëlsson, K., Langton, M., Risérus, U., ... & Landberg, R. (2021). A hypocaloric diet rich in high fiber rye foods causes greater reduction in body weight and body fat than a diet rich in refined wheat: A parallel randomized controlled trial in adults with overweight and obesity (the RyeWeight study). *Clinical Nutrition ESPEN*, 45, 155-169. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.07.007>
- Iversen, K. N., Jonsson, K., & Landberg, R. (2022). The effect of rye-based foods on postprandial plasma insulin concentration: The rye factor. *Frontiers in Nutrition*, 9, 868938. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.868938>

- Khan, M. A., Shakoor, S., Ameer, K., Farooqi, M. A., Rohi, M., Saeed, M., ... & Ramzan, Y. (2023). Effects of dehydrated moringa (*Moringa oleifera*) leaf powder supplementation on physicochemical, antioxidant, mineral, and sensory properties of whole wheat flour leavened bread. *Journal of Food Quality*, 2023(1), 4473000. <https://doi.org/10.1155/2023/4473000>
- Lakshmipriya, G., Kruthi, D., & Devarai, S. (2016). *Moringa oleifera*, A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*,5(2),49-56. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001>
- Liu, Y., Wang, X. Y., Wei, X. M., Gao, Z. T., & Han, J. P. (2018). Values, properties and utility of different parts of *Moringa oleifera*: An overview. *Chinese Herbal Medicines*, 10(4), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.chmed.2018.09.002>
- López Gea, G. (2019). Efecto de la adición de *Moringa oleifera* y *Salvia hispanica* L., en la composición química y biológica de un yogurt durante su almacenamiento. Trabajo fin de grado. Instituto Tecnológico de Mérida (México). <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/3890/1/Getsemani%20L%C3%B3pez%20Gea%20857164.pdf>
- Mahmood, K. T., Mugal, T., & Haq, I. U. (2010). *Moringa oleifera*: a natural gift-A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(11), 775.
- Man, S., Păucean, A., Muste, S., & Pop, A. (2015). Effect of the chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour addition on physicochemical properties of wheat bread. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 72(1), 41-49. <https://doi.org/10.15835/buasvmcnfst:11023>
- Mashau, M. E., Munandi, M., & Ramashia, S. E. (2021). Exploring the influence of *Moringa oleifera* leaves extract on the nutritional properties and shelf life of mutton patties during refrigerated storage. *CyTA-Journal of Food*, 19(1), 389-398. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1910732>
- Mesta-Corral, M., Gómez-García, R., Balagurusamy, N., Torres-León, C., & Hernández-Almanza, A. Y. (2024). Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods*, 13(13), 2062. <https://doi.org/10.3390/foods13132062>

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *Informe anual de la industria alimentaria en España 2023*. Gobierno de España. https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/industria-agroalimentaria/20250220informeanualindustria2023-20244t24okweb_tcm30-652150.pdf
- Miranda, M. A., & Orozco Piura, T. L. (2019). *El estudio de pre-factibilidad de la producción de harina de Moringa para la incorporación de siete Centros Escolares seleccionados en el Programa Integral de Nutrición Escolar* (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Ingeniería).
- Moreno, A. (2023). Estudio sobre el efecto como fortificante de extractos de diferentes partes de la planta *Moringa oleifera* en el crecimiento y desarrollo de plantas de banano (*Musa AAA*) var. Williams obtenidas in vitro. <http://hdl.handle.net/2183/33485>
- Olakanmi, S. J., Jayas, D. S., & Paliwal, J. (2023). Applications of imaging systems for the assessment of quality characteristics of bread and other baked goods: *A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1817-1838. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13131>
- Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>
- Padilla, M., Navarro Rodríguez de Vera, C. & Sayas Barberá, E. (2024). Efecto de la *Moringa oleifera* sobre la calidad de hamburguesas de cerdo (Trabajo fin de máster, Universidad Miguel Hernández). Repositorio institucional de la Universidad Miguel Hernández. <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/34169/1/Libro%20de%20Actas%20CUIA%202024.pdf>
- Paredes Labajos, C. L. (2023). Elaboración de fideos tipo tallarín a partir de diferentes proporciones de mezclas de harinas: Trigo (*Triticum aestivum l.*), Moringa (*Moringa oleifera lam.*) y Pan de árbol (*Artocarpus altilis.*). Tesis de grado. Universidad Nacional de Ucayali <https://hdl.handle.net/20.500.14621/6870>

- Peñalver, R., Ros, G., & Nieto, G. (2023). Development of Functional Gluten-Free Sourdough Bread with Pseudocereals and Enriched with *Moringa oleifera*. *Foods*, 12(21), 3920. <https://doi.org/10.3390/foods12213920>
- Rengifo Saldaña, B. A. (2020). Elaboración de galleta dietética con sustitución parcial de harina de moringa (*Moringa oleifera*) en Pucallpa. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/4648>
- Rodríguez Chirinos, R. E. (2021). Evaluación del grado de sustitución de la harina de trigo (*Triticum durum L.*) por harina de loche (*Cucurbita moschata Duch.*) en la elaboración de pan de molde. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/8220>
- Rodríguez Valera, C. M. (2020). Elaboración de fideos tipo tallarines fortificados con harina de hoja de moringa (*Moringa oleifera Lam.*), en Pucallpa. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/4714>
- Rojas Canales, M. (2024). Comercialización y posicionamiento de la moringa en el mercado español: Estrategias y recomendaciones. Trabajo Fin de Máster. Universidad Politécnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/208315>
- Rosén, L. A., Silva, L. O. B., Andersson, U. K., Holm, C., Östman, E. M., & Björck, I. M. (2009). Endosperm and whole grain rye breads are characterized by low post-prandial insulin response and a beneficial blood glucose profile. *Nutrition journal*, 8, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-8-42>
- Sakandar, H. A., Hussain, R., Kubow, S., Sadiq, F. A., Huang, W., & Imran, M. (2019). Sourdough bread: A contemporary cereal fermented product. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(3), e13883. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13883>.
- Sánchez-Ortiz, L. K., Sánchez-Quezada, V., Gaytán-Martínez, M., Cuellar-Nuñez, M. L., & Loarca-Piña, G. (2024). Influence in physicochemical, nutritional, and antioxidant properties by addition *Moringa oleifera* leaves in Avena sativa bread. *Food Chemistry*, 460, 140743. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140743>
- Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Avila, G. C., Sinagawa-García, S. R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). *Moringa oleifera*; importancia, funcionalidad y estudios involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25-30.

- Sandoval Micha, D. C. (2020). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de hojas de moringa (*Moringa oleifera*) y harina de soya (*Glycine max*) en elaboración de galletas dulces. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3697>
- Sengev, A. I., Abu, J. O., & Gernah, D. I. (2013). Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread. *Food and nutrition sciences*, 4(3), 270. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.43036>
- Sengev, I. A., Agbanyi, M. M., & Sule, S. (2021). Effect of dry shredded *Moringa oleifera* leaves and vitamin C on the physicochemical properties of the dough and bread. *J. Curr. Res. Food Sci*, 2, 35-39.
- Sesé Guillén, T. (2022). *Aprovechamiento de vainas de moringa para alimentación y propuesta de una instalación de refrigeración-congelación* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia).
- Sharma, K., Kumar, M., Waghmare, R., Suhag, R., Gupta, O. P., Lorenzo, J. M., & Prakash, S. (2022). Radha; Rais, N.; Sampathrajan, V.; et al. Moringa (*Moringa oleifera Lam.*) polysaccharides: Extraction, characterization, bioactivities, and industrial application. *Int. J. Biol. Macromol*, 209, 763-778. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.047>
- Shivanna, S. K., N, L. N., & Rao, P. S. (2024). Enhancing nutritional, textural, and bio-functional properties of yoghurt through fortification with *Moringa oleifera*: a comprehensive investigation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(10), 8289-8304. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02801-6>
- Singh, A. K., Rana, H. K., Tshabalala, T., Kumar, R., Gupta, A., Ndhala, A. R., & Pandey, A. K. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop *Moringa oleifera Lam*: An overview. *South African Journal of Botany*, 129, 209-220. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.017>
- Srinivasamurthy, S., Yadav, U., Sahay, S., & Singh, A. (2017). Development of muffin by incorporation of dried *Moringa oleifera (Drumstick)* leaf powder with enhanced micronutrient content. *Development*, 2(4), 65-71.

- Taher, M. A., Nyeem, M. A. B., Ahammed, M. M., Hossain, M. M., & Islam, M. N. (2017). *Moringa oleifera* (Shajna): the wonderful indigenous medicinal plant. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 3(1), 20-30. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v3i1.32032>
- Trigo Guzmán, C. (2020). *Potencialidad de la hoja de moringa (Moringa oleifera) como ingrediente alimentario* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). <http://hdl.handle.net/10251/149889>
- Vendrell Haya, S. (2021). *Enriquecimiento proteico y antioxidante de galletas con polvo de hojas secas de moringa y aceptación sensorial* (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). <http://hdl.handle.net/10251/171147>
- Venturi, M., Galli, V., Pini, N., Guerrini, S., Sodi, C., & Granchi, L. (2021). Influence of different leavening agents on technological and nutritional characteristics of whole grain breads obtained from ancient and modern flour varieties. *European Food Research and Technology*, 247, 1701-1710. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03740-y>
- Viglione, L. (2024). *Moringa oleifera y su implicancia como alimento funcional*. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias médicas, Universidad de Fasta, Argentina. <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/1666>
- Zarzycki, P., Wirkijowska, A., Teterycz, D., & Łysakowska, P. (2024). Innovations in Wheat Bread: Using Food Industry By-Products for Better Quality and Nutrition. *Applied Sciences*, 14(10), 3976. <https://doi.org/10.3390/app14103976>
- Zhang, G., Sun, Y., Sadiq, F. A., Sakandar, H. A., & He, G. (2018). Evaluation of the effect of *Saccharomyces cerevisiae* on fermentation characteristics and volatile compounds of sourdough. *Journal of food science and technology*, 55, 2079-2086. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3122-1>
- Zumalacárregui de Cárdenas, B., & Ferrer Serrano, C. (2021). Elaboración de crema exfoliante con aceite y cáscara de semillas de *Moringa oleifera* ecotipo Plain. *Centro Azúcar*, 48(1), 22-34.
- Zumalacárregui-de Cárdenas, B., & Ferrer-Serrano, C. (2021). Elaboración de champú utilizando aceite de semillas de *Moringa oleifera* aclimatadas en Cuba. *Revista Cubana de Química*, 33(1), 40-53.