



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA
Y DE COCCIÓN DE PASTAS TIPO FIDEO
ADICIONADAS CON MELATONINA Y
CARBOXIMETILCELULOSA COMO
INGREDIENTES TECNOLÓGICOS**

Para obtener el título de

Ingeniera Agroindustrial

Presenta

María Fernanda Ríos Ríos

Director

Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández

Codirector

Dr. Cesar Uriel López palestina

Asesores tutoriales

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. Javier Piloni Martini

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., enero, 2025.

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 15 de noviembre de 2024

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería en Ingeniería Agroindustrial, **María Fernanda Ríos Ríos**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Evaluación de la calidad fisicoquímica y de cocción de pastas tipo fideo adicionadas con melatonina y carboximetilcelulosa como ingredientes tecnológicos”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

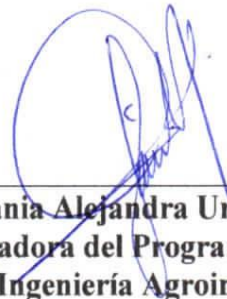
A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dra. Aurora Quintero Lira
SECRETARIO	Dr. César Uriel López Palestina
VOCAL 1	Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández
SUPLENTE 1	Dr. Javier Piloni Martini



Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”



Dra. Thania Alejandra Urrutia Hernández
Coordinadora del Programa Educativo de
Ingeniería Agroindustrial



DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo en especial a mis padres Carlos Ríos Díaz y Yolanda Ríos Islas por estar siempre en las buenas y en las malas conmigo, por enseñarme que el querer es poder, también por ayudarme a cumplir mis metas y por su apoyo incondicional que me brindan. Sin ellos no hubiera sido posible lograr todo lo que he hecho. Siempre les estaré infinitamente agradecida por todo lo que me han dado.

De igual manera dedico este trabajo a mi familia, a mi hermana por su apoyo en todo momento, así como también a mi sobrinito Carlos por ser un niño muy noble conmigo y entender que a veces no podía estar con él debido a la escuela, pero sabe que lo quiero infinitamente, también a amigas que me apoyaron, muchas gracias.

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir esta experiencia, por estar siempre que lo he necesitado e iluminarme durante el trayecto, también por darme unos padres maravillosos y ponerme en el lugar correcto.

A la Dra. Thania Alejandra Urrutía Hernández quien fue mi asesora de tesis por permitirme colaborar con ella en este trabajo de investigación, por compartirme sus conocimientos, experiencia y brindarme su apoyo en todo momento además de ser comprensible conmigo.

A la Química Maribel López Tolentino y al Dr. Uriel González Lemus por brindarme su apoyo enseñándome a utilizar algunos equipos de laboratorio y dándome consejos para realizar determinados análisis. Gracias por compartir su conocimiento conmigo.

A mi amigo Miguel Ángel Muñoz Mercado y a mi amiga Catalina López González por ayudarme a realizar análisis bromatológicos y estar conmigo en el laboratorio apoyándome. Muchas gracias por estar conmigo en esta experiencia.

A mis amigas Emily Cruz Cadena, Leidy Guzmán Pérez y Odalys Hernández Pérez por todos los momentos buenos y malos que pasamos a lo largo de la carrera, por siempre estar conmigo apoyándome y dándome consejos para seguir con mis metas, gracias por escucharme, por ser las mejores amigas que la vida me pudo haber dado, sin duda fue el mejor equipo que formamos “Edileyferemy”. Muchas gracias por todo.

A todos los profesores que tuve durante mi formación de Licenciatura. Por compartirme conocimientos esenciales de la carrera y contribuir a la realización de mi

vida profesional Especialmente a la Dra. Aurora Quintero por ser mi tutora a lo largo de toda la carrera, por sus consejos y motivación para cumplir esta meta.

Al Comité revisor al Dr. Cesar Uriel López palestina, Dr. Javier Piloni Martini y a la Dra. Aurora Quintero Lira por revisar mi trabajo y apoyarme en mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
3.1. La Pasta	11
3.2. Clasificación de las Pastas	11
3.3. Ingredientes de la Pasta	12
3.3.1. Semolina de trigo	12
3.3.2. Otros cereales.....	13
3.3.3. Agua.....	14
3.3.4. Huevo.....	14
3.3.5. Sal.....	15
3.3.6. Lípidos.....	15
3.3.7. Vegetales	16
3.3.8. La carboximetilcelulosa (CMC) como aditivo	17
3.4. Procesos para la elaboración de la pasta	18
3.4.1. Mezclado de los ingredientes.....	18
3.4.2. Amasado	18
3.4.3. Reposo de la masa	19
3.4.4. Moldeado	20
3.4.5. Secado	20
3.4.6. Cocción	21

3.5. Composición proximal de la pasta	22
3.6. La Melatonina	22
3.6.1. Síntesis	23
3.6.2. Propiedades funcionales de la melatonina.....	24
3.6.3. La melatonina en los alimentos.....	25
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. OBJETIVOS.....	29
4.1. Objetivo general.....	29
4.2. Objetivos específicos.....	29
V. MÉTODOS.....	30
5.1. Formulación de una pasta a partir de mezclas de cereales.....	30
5.2. Elaboración de la pasta	30
5.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas de las pastas	32
5.3.1. Contenido de humedad.....	32
5.3.2. Contenido de minerales	33
5.3.3. Contenido de grasa cruda.....	33
5.3.4. Contenido de fibra cruda.....	34
5.3.5. Contenido de proteínas.....	35
5.3.6. Color	36
5.4. Determinación de la calidad de cocción de pastas	37
5.4.1. Prueba de cocción	37
5.4.2. Pérdidas por cocción.....	37
5.4.3. Sólidos solubles totales en agua de cocción.....	37
5.4.4. Capacidad de absorción de agua y porcentaje (%) de hinchamiento	37
5.4.4. Porcentaje de Incremento de volumen.....	38
5.5. Evaluación de Textura de las pastas	38

5.6. Análisis estadístico	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
1.1. Selección de pasta formulada a partir de la mezcla de cereales	39
1.2. Propiedades fisicoquímicas de las pastas	41
1.3. Color	43
1.4. Calidad de cocción de las pastas.....	44
1.4.1. Tiempo óptimo de cocción.....	44
1.4.2. Pérdidas por cocción y sólidos solubles totales.....	45
1.4.3. Capacidad de absorción de agua y Porcentaje (%) de hinchamiento ..	47
1.4.4. Porcentaje de Incremento de volumen	48
1.5. Análisis de textura de las pastas.....	49
VII. CONCLUSIONES	52
VIII. REFERENCIAS	54
IX. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulaciones de mezclas de cereales-----	30
Tabla 2. Formulaciones de trabajo -----	31
Tabla 3. Formulaciones de trabajo -----	31
Tabla 4. Tiempo de cocción de pastas preliminares -----	40
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de las pastas -----	41
Tabla 6. Análisis de color en las pastas -----	44
Tabla 7. Tiempos de cocción de las pastas-----	45
Tabla 8. Evaluación de las pérdidas por cocción, grado de absorción, contenido de sólidos solubles y % de hinchamiento de las pastas -----	46
Tabla 9. Capacidad de absorción de agua y % de hinchamiento-----	48
Tabla 10. Perfil de textura de las pastas secas-----	50
Tabla 11. Perfil de textura en pastas cocidas -----	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la melatonina (Poza et al., 2022)	23
Figura 2.. Síntesis de melatonina a partir de Triptófano (Poza et al., 2022).....	24
Figura 3. Exposición de fideos tras el modelo (A: 100% semolina; B:SA; C:SAC; D:SACM)	32
Figura 4. Formulaciones preliminares a partir de mezclas de cereales.....	40
Figura 5. Formulación de trabajo elaborada con 20% de harina de amaranto (A), y tratamiento control de 100% semolina (B).	41

RESUMEN

Considerando que la pasta es un alimento con alto contenido de carbohidratos complejos, tiene niveles bajos de grasa y que regularmente carece de proteínas, además de ser un alimento con alto consumo a nivel mundial, en busca de crear una pasta que tuviera mejor valor nutrimental así como también mejores propiedades tecnológicas, se elaboraron varias formulaciones con adición de amaranto debido a que es un pseudocereal que tiene alto contenido de proteína, fibra y grasa, además de la incorporación de carboximetilcelulosa (CMC) como agente mejorador en textura y melatonina, de dichas formulaciones se eligieron solo 4 tratamientos que fueron: T1 control (100% semolina), T2 SA (80% semolina-20% amaranto), T3 SAC (80% semolina-20% amaranto y 2% CMC) y T4 (80% semolina-20% amaranto y 2% CMC + melatonina), a los cuales se les realizaron análisis químico-proximal (humedad, cenizas, grasa, fibra y proteínas), destacando con mejores valores los T3 y T4, respecto al análisis de color todos los tratamientos a excepción del control obtuvieron diferencias significativas en los valores de los componentes a^* , b^* y c , más aún cuando se adiciona CMC y melatonina en comparación con el tratamiento control. Mediante los análisis de prueba de firmeza se observó que el tratamiento control tuvo mejor resultado al tener un mejor desarrollo de gluten, sin embargo cabe mencionar que la adición de CMC y melatonina en la pasta hicieron cambios significativos en comparación con el T2, además se realizaron análisis de volumen en pasta seca y cocida sobresaliendo con valores más altos el T4 (80-20%+ CMC + Melatonina), por último se realizaron análisis de textura en pasta seca obteniendo mayores valores el T2 (80-20%) en los parámetros de rompimiento, fracturabilidad y rigidez, de igual manera en pasta cocida destacando dicho tratamiento en los parámetros de firmeza y trabajo de corte. Finalmente, en base a todos los resultados se pudo observar que la adición de amaranto en conjunto con la CMC y melatonina si ayudo principalmente en el valor nutricional de la pasta de igual manera en las propiedades tecnológicas, a pesar de que la dosis de la melatonina fue muy poco si logro hacer efectos significativos a la pasta.

I. INTRODUCCIÓN

La pasta es un alimento de amplio consumo en el mundo gracias a su valor nutricional, sensorial, conveniencia y versatilidad (IPO, 2021). De manera tradicional, este alimento se elabora principalmente con sémola, agua y otros ingredientes (Rueda, 2007). La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) consideran que la pasta es un alimento apropiado para transportar ingredientes con alto valor nutrimental como huevo, verduras entre otros (Bianchi et al., 2021). Debido a la creciente popularidad y la demanda de consumidores con estilos de vida más saludables, los investigadores y la industria se han esforzado por mejorar las pastas tradicionales con la elaboración de productos con la adición de y/o sustitución de nuevos ingredientes (Bianchi et al., 2021), que además de nutritivos, mejoren las propiedades tecnológicas del alimento. Elementos como minerales, proteínas, fibra, prebióticos, granos enteros, multigranos, mezclas de vegetales son incorporados en la formulación de las pastas, estos son ejemplos de su innovación (Angelino et al., 2019). El amaranto (*Amaranthus spp*) es un pseudocereal con niveles significativos de fibra dietética (19.5-49.3%), de proteína (12-19%) rica en metionina y lisina, así como de vitaminas y minerales (Jatav et al., 2016). Gracias a estas propiedades, el amaranto ha sido incorporado en alimentos como el pan, pastel y pasta. La adición de amaranto a las pastas aumenta su valor nutrimental principalmente en proteína, fibra y minerales lo cual es ideal para una dieta saludable (Alizadeh et al., 2024). Además, a nivel tecnológico, las pastas que incluyen amaranto en su formulación suelen ser más estables que aquellas formuladas con cereales y legumbres debido a su bajo contenido de amilosa (Hernández, 2012). Un producto de reciente uso en los alimentos es la melatonina. Se trata de una hormona secretada por la glándula pineal que participa en la regulación del ciclo circadiano. En la naturaleza, conocida como fitomelatonina, se encuentra en diversos alimentos como cereales, frutas y hortalizas, aunque su proporción está en el rango de micro a nanogramos por gramo (Poncela, 2014). Debido a que la melatonina es muy difícil de extraer, son pocos los estudios donde se ha añadido con fines nutricionales o tecnológicos. El propósito de este trabajo fue investigar el efecto de la incorporación de melatonina y carboximetilcelulosa como ingrediente tecnológico en una pasta tipo fideo a base de semolina sustituida parcialmente con harina de amaranto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. La Pasta

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980, la pasta de harina de trigo y/o semolina es elaborada por la desecación de figuras obtenidas del amasado de semolina y/o harina de trigo, agua, ingredientes opcionales y aditivos permitidos, que puede o no contener huevo o vegetales. La pasta es un alimento con alto contenido de carbohidratos complejos y niveles bajos de grasa, y regularmente carece de proteínas (Bianchi et al., 2021). Está hecha por harina de trigo duro, semiduro o sémolas que en conjunto con otros ingredientes hacen una masa no fermentada (Hernández, 2012).

3.2. Clasificación de las Pastas

La Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980 indica que las pastas secas para sopa y otros platillos se clasifican en tres tipos con un solo grado de calidad:

- Tipo I. Pasta amarilla o blanca de harina de trigo y/o semolina para sopa
- Tipo II. Pasta de harina de trigo y/o semolina con huevo para sopa
- Tipo III. Pasta de harina de trigo y/o sémola con vegetales

Estos tipos pueden fabricarse como pastas cortas, largas y especiales. En las pastas cortas destacan las formas de estrella, alfabeto, munición, entre otras, estas pastas tienen la característica de ser huecas, también están los codos, tornillos, concha entre otras presentaciones las cuales son compactas, teniendo una longitud de 20 y 40 mm. Las pastas largas incluyen a los fideos, espagueti, tallarín, lasaña y macarrones, teniendo este tipo de pasta una longitud de 200 a 500 mm, con forma enrollada o recta, mientras que las pastas especiales que se caracterizan por tener formas novedosas que pueden ser rellenas en estas se encuentran ravioles, panzerotti, tortellini, agnolotti, canelones entre otras presentaciones (Hernández, 2012).

3.3. Ingredientes de la Pasta

Las pastas frecuentemente son elaboradas con harina y semolina de trigo *durum*, sin embargo, existen muchos tipos de pastas que se elaboran con ingredientes adicionales como vegetales y huevo, entre otros. Entre los alimentos funcionales, la pasta es un vehículo ideal en la búsqueda del bienestar por su bajo costo, vida de anaquel y alto consumo mundial (Bustos et al., 2015). La composición de los ingredientes de una pasta contribuye directamente a sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y tecnológicas. A continuación, se describe la función de los ingredientes generales de una pasta (Lu et al., 2016).

3.3.1. Semolina de trigo

Semolina, se llama así a las harinas molidas de forma gruesa o fina del trigo "*Triticum Durum*", un tipo de trigo que destaca por su dureza, color, altos valores nutrimentales y que brinda excelentes resultados en los productos terminados que con ella se pueden elaborar (Saltos, 2011). La semolina, junto con el agua, es uno de los ingredientes esenciales de una pasta. En la cocina italiana, una ley nacional condiciona su uso para la elaboración de pastas secas (Decreto del presidente de la República, 1994), mientras que, en otras partes del mundo, el trigo común resulta una alternativa viable debido a su menor costo y alta disponibilidad (Hong et al., 2017), con el inconveniente de que es deficiente en aminoácidos esenciales como lisina, proteínas y fibra dietética (Jatav et al., 2016).

La semolina de trigo *durum* se caracteriza por un alto contenido de proteínas y desarrollo de gluten fuerte, que forma complejos lipoproteicos y viscoelásticos capaces de resistir al estrés físico de su procesamiento, mejoran el desarrollo de la masa y evitan la desintegración de la pasta durante la cocción (Robledo, 2014), lo que la convierte en el ingrediente ideal, consideran que la semolina perfecta para pasta debe tener un contenido de proteína entre 12 y 15%, con un contenido de gluten superior al 11% y de almidón entre 74 y 76% (Sissons M, 2008).

Con relación a su formulación en la pasta, la masa de semolina integral muestra una mayor viscosidad a altos niveles de hidratación (34%) en comparación con una masa de sémola refinada, siempre que el estado de hidratación no supere el 32% para

sémola refinada, integral o sus mezclas (De la Peña et al., 2014). La semolina de trigos cristalinos y con tamaño de partícula de 250 a 450 μm garantiza una mejor hidratación (Dexter, 2004), propiedades reológicas, la calidad de cocción y aceptación por parte del consumidor (De Penna et al., 2002).

3.3.2. Otros cereales

La finalidad de otros ingredientes en la pasta es el de potenciar sus propiedades nutritivas o sensoriales y así dar un producto terminado de mejor calidad. Tal es el caso de las pastas libres de gluten para personas celíacas. Estas pastas tienen la característica de que son elaboradas de cereales libres de gliadina como el arroz y maíz haciéndolas ricas en carbohidratos que sustituyen parcial o totalmente al trigo (Granito et al., 2003).

El amaranto (*Amaranthus spp*) es un pseudocereal con gran valor en la elaboración de productos derivados del trigo, como una alternativa de sustitución parcial de la sémola (Gutiérrez et al., 2016) por su alto contenido proteico que va desde 15-18% rica en lisina y con niveles aceptables de triptófano y metionina, contiene el doble de proteína que el maíz y el arroz, siendo superior a la de otros cereales. Su contenido de lípidos es dos a tres veces más alto que otros pseudocereales como el trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum*) es un pseudocereal con alto valor nutrimental, su grano tiene forma triangular, como una pequeña pirámide. Es originario de Asia central siendo China el país a la cabeza de la producción mundial (Ada, 2016). Además de ser el amaranto una buena fuente de fibra dietética que favorece la salud digestiva, reduciendo el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, obesidad y algunos tipos de cáncer como el de colon (Bautista Cornejo & Pico Aguirre, 2009).

De acuerdo a la revista española de nutrición humana y dietética menciona la producción de tallarines con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto, en donde concluyeron que la adición de amaranto si impacta significativamente en el contenido nutricional de los tallarines, principalmente en fibra saludable incrementó en más de 4.8 veces, cuando fue comparado con el control (semolina de trigo) con la adición de amaranto a la formulación, además de que igual aumento las proteínas, minerales y grasa (Vedia et al., 2016).

3.3.3. Agua.

Otro ingrediente esencial en la elaboración de pasta es el agua. Contribuye a la humedad de la masa, en una proporción de 18-25%, da como resultado una masa con 30-32% de humedad necesaria para un producto terminado con 12.5% de agua (Rueda, 2007). El papel del agua es el de hidratar a las proteínas de la semolina y favorecer la dispersión de los ingredientes. Su adición es necesaria cuando se emplean ingredientes distintos al grano de trigo, como la fibra, que, al ser altamente hidrofílica, compite con las proteínas por la absorción de agua, y esto la reduce a disponible para su solvatación, comprometiendo la formación del gluten. Para reducir este efecto, la hidratación por separado de la semolina y el salvado antes del moldeado parece ser una alternativa para evitar la competencia por el agua entre la fibra y proteínas. De esta manera, el color y la resistencia de la pasta seca al quiebre, así como, la elasticidad, firmeza y adhesividad en la pasta cocida son mejorados (La Gatta et al., 2017).

3.3.4. Huevo

El huevo es un ingrediente opcional en la elaboración de las pastas, que se incorpora en estado fresco, pasteurizado, congelado o deshidratado (Alamprese, 2017). En las pastas, además de mejorar el valor nutrimental, el huevo puede cambiar la suavidad y elasticidad de la masa. La función del huevo predomina en la ovoalbúmina, la mayor proteína del huevo (cerca del 54%), que tiene propiedades de coagulación y gelificación. En su estructura, la ovoalbúmina tiene cuatro tioles de cisteína libres y un puente disulfuro, capaces de interactuar con las proteínas de gluten por medio de intercambios disulfuro que fortalecen la red de proteínas e inhiben la lixiviación del almidón (Alamprese et al., 2005). En otra parte, debido a su contenido de lípidos, un incremento en su participación en la pasta puede inhibir el desarrollo del gluten durante el mezclado al mismo tiempo que la grasa puede dispersarse en la masa durante la cocción (Alamprese et al., 2007), además de incrementar el aporte de colesterol (150–200 mg/100 g de pasta seca) susceptible a la oxidación (Zardetto et al., 2014). En la industria, la adición del huevo se sugiere que sea de forma deshidratada porque tiene menos riesgos de contraer microorganismos en comparación con el huevo líquido este necesitará de más medidas de higiene, debido a que pudo haber estado en lugares factibles para contraer microorganismo o

bacterias, por eso el cual debe pasar por un tratamiento térmico como pasteurización (Granito et al., 2003).

Además de la textura, el huevo brinda un tono más amarillento y añade un sabor ligeramente dulce a la pasta (Rueda, 2007). Incluso, productores de huevo destinado a la elaboración de pasta modifican la dieta de las gallinas con piensos ricos en carotenoides que provocan cambios de color en el huevo y así evitan el uso de colorantes en la pasta (Galović et al., 2020).

3.3.5. Sal

La sal juega un papel muy importante en la elaboración de las pastas. Su adición a la masa puede causar la esterificación entre las proteínas del gluten y el almidón para formar complejos más estables, incrementar la fuerza que une a las proteínas y el almidón y reducir la lixiviación. En la pasta se recomienda su adición del 1 al 3% respecto al peso de la harina (Wu et al., 2006). Cuando se agrega durante el mezclado, la sal se disocia en iones de sodio y cloro tras ser disuelta, lo cual produce que la harina absorba rápidamente agua, se incrementa el tiempo de desarrollo, extensibilidad y resistencia (Fan et al., 2020). Si el contenido de sodio es excesivo se conduce al deterioro del gluten y al descenso tanto de la elasticidad como la extensibilidad de la masa; se incrementan las pérdidas por cocción y se descende el valor nutrimental debido a las pérdidas de lisina y una menor digestibilidad de proteína (Obadi et al., 2022).

3.3.6. Lípidos

Las harinas de trigo poseen un bajo contenido de lípidos, por lo que la adición de aceites vegetales o grasas animales es común en la elaboración de masas. En las harinas, de acuerdo con su distribución, los lípidos se agrupan en lípidos de almidón (siglas en inglés SLs) y lípidos de No almidón (NSLs). Los SLs, presentes dentro de los gránulos de almidón contienen de 85 a 91% de fosfolípidos; y los NSLs, compuestos de lípidos neutros (51-63%), glucolípidos (22-27%) y fosfolípidos (13-23%). Los NSLs se separan de la superficie de los gránulos de almidón hacia la red de gluten para asociarse con las proteínas a través de enlaces covalentes, y así fortalecer la capacidad de retención de gas en productos de panadería (Melis &

Delcour, 2020). Este efecto es producido por los lípidos exógenos. Las grasas añadidas pueden mejorar las propiedades de mezclado, incrementar la fuerza y resistencia al amasado y la tasa de absorción de agua. También incrementan la extensibilidad, plasticidad, estabilidad y uniformidad de la masa (Zhili et al., 2022), que se traduce en pastas con mejor calidad de cocción y (Melis & Delcour, 2020).

En la formulación de una pasta, los lípidos endógenos o añadidos forman complejos con la amilosa del almidón, que puede modificar significativamente sus propiedades y funcionalidad, por ejemplo, reducir la solubilidad y capacidad de hinchazón, incrementar temperatura de gelatinización y retrasar la retrogradación; así como complejos proteína-lípidos que ocurren naturalmente entre los mayores componentes del gluten, la gliadina y la glutenina. Las moléculas lipídicas con extremos polares se unen a la gliadina por medio de enlaces hidrofílicos, y los extremos no polares se unen a la glutenina por fuerzas hidrofóbicas durante el amasado (Zhang et al., 2012).

3.3.7. Vegetales

La incorporación de vegetales representa una oportunidad para ofrecer alimentos enriquecidos con fibra dietética y antioxidantes. En la pasta se han adicionado harinas de leguminosas en un rango de 10-15% de sustitución. Si esta participación incrementa por encima del 30%, se produce una agregación de las partículas que altera la capacidad de mezclado, debido a que las harinas de leguminosas aportan una mayor participación de proteínas que no forman gluten y fibras insolubles que debilitan a la red de proteínas y conllevan a mayores pérdidas durante la cocción (Petitot et al., 2010). Por otra parte, la inclusión de vegetales de hoja verde, como espinacas y acelgas, se han empleado como fuentes de fibra y vitamina E (Fратиanni et al., 2023), y algunos subproductos de frutas, como la piel de manzana, incrementan el contenido de polifenoles y actividad antioxidante en comparación de una pasta convencional (Lončarić et al., 2014). Una desventaja de la adición de los vegetales es el detrimento de la calidad de la pasta debido a la presencia de fibra, que debilita el gluten (como resultado de una menor cantidad de semolina) como una red de proteína discontinua que causa interferencia con los polisacáridos distintos al almidón, además de incrementar el índice de hinchazón de la pasta por absorción de agua, que incrementa el nivel de gelatinización del almidón (Manthey & Schorno, 2002).

3.3.8. La carboximetilcelulosa (CMC) como aditivo

Se entiende como aditivo a “cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características” (Codex, 2023).

Con la intención de mejorar las propiedades tecnológicas de las pastas, se han añadido distintos aditivos. Entre estos se encuentra la carboximetilcelulosa. Químicamente, la sal sódica se trata de un polisacárido aniónico con cadenas largas y lineales de residuos de glucopiranosos unidos por enlaces β (1 \rightarrow 4). Es un derivado de la celulosa que se obtiene por medio del tratamiento de la celulosa de maderas o de algodón. Tiene propiedades anfifílicas debido a su polisacárido hidrofóbico columna vertebral y muchos grupos carboxilo hidrófilos (Arreola, 2012).

La carboximetilcelulosa (CMC) es un aditivo de gran utilidad en la industria alimentaria debido a que tiene funciones como estabilizador de proteínas y emulsiones, espesante, agente de suspensión, coloide protector, evita la sinéresis, retarda la cristalización de azúcares, es retenedor de agua, mejora la textura del producto final, además de que también mejora harinas pobres en gluten debido a esto es empleado en diversos alimentos como las pastas (Granados, 2015). Su uso corresponde a las Buenas Prácticas de Fabricación, lo que significa que la cantidad de aditivo que se añade al alimento se limitará a la dosis mínima necesaria para obtener el efecto deseado (FAO/OMS, 2023).

En un estudio realizado por (Tang et al., 2019), sobre el efecto combinado de la CMC y sal sobre las propiedades estructurales de proteínas del gluten de trigo se encontró que cuando se agregó CMC, la hidrofobicidad superficial de la glutenina fue menor, pero la de la gliadina fue mayor, debido a la solubilidad de diferentes proteínas. También se encontró que la CMC aumenta la intensidad de bandas de gliadina en ausencia de sal, protegiendo la estructura secundaria del gluten de la sal. La sal aumentó la lámina β del gluten, mientras que la CMC protegió la estructura secundaria

del gluten de la sal, lo que significa que la CMC mantiene la conformación original del gluten en presencia de sal.

3.4. Procesos para la elaboración de la pasta

Cada una de las etapas en el proceso de elaboración de pasta impacta en la calidad del producto final, por lo que es muy importante reconocer las variables en orden de controlar la calidad del producto (Bresciani et al., 2022).

3.4.1. Mezclado de los ingredientes

El mezclado es el paso donde se incorporan todos los ingredientes, principalmente la sémola o harina, y suficiente agua para tener una masa de 30-32% de humedad, lo que se consigue con 27-29 g/100 g de semolina. La cantidad de agua añadida es esencial para una correcta solvatación de proteínas al tiempo que ocurre el desarrollo parcial del gluten. La adecuada hidratación de las proteínas asegurará, para las etapas posteriores, la formación de la red de gluten que restringirá y prevendrá el hinchamiento del almidón durante la cocción (Bresciani et al., 2022). Otros factores que afectan la hidratación de la semolina son su composición en proteínas y cenizas, el contenido de almidón dañado y el tamaño de la partícula. La semolina de partícula fina produce una pasta con mayor fuerza mecánica (Deng & Manthey, 2017), niveles bajos de cenizas y la presencia de almidón dañado dan como resultado un producto seco y con manchas marrones (por la presencia de salvado) (De Noni & Pagani, 2010). En contraparte, la hidratación insuficiente produce puntos blancos en el producto, los cuales indican una estructura débil y una pérdida en la calidad del producto tanto en apariencia como textura. Una hidratación excesiva resulta en un producto pegajoso, con baja resistencia mecánica y calidad de cocción pobre (Sissons et al., 2022), además de una reducción en el brillo o luminosidad, e incremento en el componente a^* de color, pero no en el grado de amarillo b^* (De la Peña et al., 2014).

3.4.2. Amasado

El amasado es una etapa crítica con implicaciones importantes tanto en la calidad como en el procesamiento de las pastas. Este proceso involucra el mezclado uniforme de los ingredientes, donde la harina es hidratada y se forma gradualmente una

estructura viscoelástica conocida como gluten (Wang et al., 2024), gracias a la energía mecánica del estrujado y estirado de la masa (Shao et al., 2019).

Debido a su relación con la calidad de las pastas, el tiempo y tipo de amasado son condiciones que se deben cuidar para desarrollar masas fuertes. Con relación al tiempo, la ausencia de amasado o poco tiempo no favorecen el desarrollo del gluten, y se producen fideos con mayores pérdidas de cocción y absorción de agua (Shao et al., 2019). En cambio, el amasado excesivo o una baja hidratación pueden provocar el rompimiento del gluten y las temperaturas de amasado superiores a 45°C favorecen la gelatinización del almidón. Al tener una estructura proteica regular y uniforme asegura una buena cocción, dando como resultado la eliminación de pegajosidad y una alta firmeza (Bresciani et al., 2022).

El tipo de amasado también presenta efectos sobre la calidad de la pasta. Con el amasado manual se produce una estructura de proteína más compacta y uniforme, con baja hinchazón y capacidad de retención de agua. Esto debido a que los gránulos de almidón quedan atrapados en la red de gluten. También hay una mayor adhesividad, debido a que de forma manual la masa es manejada en distintas direcciones haciendo de ella una estructura más homogénea y continua (Shao et al., 2019).

3.4.3. Reposo de la masa

El reposo consiste en mantener la masa en un estado estático luego del amasado, y aunque aparentemente no ocurren cambios, tiene un gran impacto en la calidad de la pasta (Obadi et al., 2022). Durante el amasado la masa es sujeta a fuerzas, y el estrés residual en el interior altera su estructura., por lo que la masa necesita reposar cierto tiempo para permitir que el agua penetre gradualmente a su interior, cambie la interacción entre los ingredientes de la masa y se elimine el estrés residual (Xing et al., 2021). La humedad en la masa favorece la formación de puentes de hidrógeno con las proteínas y el almidón, lo cual reduce su movilidad e incrementa la cantidad de agua ligada. La hidratación de las proteínas aumenta (L. Wang et al., 2022) y se crea una red de gluten uniforme y compacta que produce fideos con propiedades de textura y cocción mejores que una masa sin reposar (Liu et al., 2021).

3.4.4. Moldeado

El moldeado representa el corazón del proceso de la elaboración de pasta. Se lleva a cabo de dos maneras, por extrusión o laminado. En la primera, la masa formada en un cilindro es comprimida por un tornillo que la empuja hacia el troquel con una presión superior a 10 MPa (Sarghini et al., 2005) y una temperatura que asciende a lo largo del tornillo. En el segundo, la masa pasa a través de rodillos que reducen su grosor y la masa es sujeta a presión por corto tiempo, por lo que inmediatamente se relaja y recupera de la deformación. A nivel industrial la extrusión es preferida por su alta productividad y versatilidad, pues más de 200 formas diferentes de pasta pueden ser producidas (Liu et al., 2021).

La pasta obtenida por extrusión generalmente muestra mayores valores de consistencia que la pasta laminada, pero en la cocción sus atributos sensoriales son similares. En la pasta laminada, su estructura es menos compacta y extensiva, pero con mayor capacidad para retener sólidos durante la cocción. Por otra parte, hay una formación de red de gluten, así como una mayor resistencia a la desintegración y baja adhesión. La red de gluten es más continua (menor gelatinización del almidón), probablemente debido a un menor estrés que alinea las fibras de proteína. El resultado es una pasta firme sin pegajosidad, con menor pérdida por cocción, mayor firmeza y menor tendencia a desintegrarse durante la cocción (Marti et al., 2011). En la extrusión, la temperatura también influye en las pérdidas por cocción. El ascenso de la temperatura del cilindro de extrusión de 35 a 70°C conduce a un aumento de las pérdidas por cocción hasta del 250%. Si la proteína de la sémola se desnaturaliza durante el amasado y moldeado, estas no serán capaces de interactuar para crear la red de proteína que retiene a los gránulos de almidón durante la cocción (Varsha & Mohan, 2016). Además, el estrés mecánico ocurrido durante la extrusión puede producir la degradación parcial del almidón y formación de azúcares reductores que contribuyen a la reacción de Maillard (Marti et al., 2011).

3.4.5. Secado

El secado es un paso muy importante en la elaboración de la pasta porque le otorga sus características finales de estabilidad química, física y permite alargar su vida útil. Las variables para controlar en esta etapa son la temperatura, humedad relativa y

tiempo. En el caso de la temperatura, tradicionalmente la pasta es secada a menos de 50°C (Bresciani et al., 2022), sin embargo, mayores temperaturas (sobre 80°C) se han introducido muy rápidamente en la industria (Ogawa et al., 2017), porque producen una mayor firmeza y rigidez de la pasta, se mejora la calidad de cocción y la capacidad de retención de la salsa, al mismo tiempo que reduce el tiempo de secado y la contaminación (Ohmura et al., 2023), esto debido al efecto reforzante de la coagulación de las proteínas. En combinación con una baja humedad (<15%) ocurren interacciones entre almidón, proteínas y lípidos afectando positivamente las propiedades estructurales de la pasta (De Noni & Pagani, 2010).

Con relación al tiempo, el secado rápido de la pasta provoca su agrietamiento y por el contrario, un secado lento la hace susceptible al crecimiento de hongos, su decoloración y debilitamiento. El equilibrio entre la temperatura, la humedad y el tiempo consigue un producto estable con una humedad de 12-12.5% (Rueda, 2007).

3.4.6. Cocción

La cocción forma parte de las operaciones culinarias para el consumo de la pasta. Para ello, 10 mL de agua en su punto de ebullición son requeridos por cada gramo de pasta, y se deja por unos minutos hasta el punto al dente (Rueda, 2007). Durante la cocción, la proteína necesita agua para coagularse y producir una red elástica; el almidón absorbe agua, se hincha, gelatiniza y tiende a solubilizarse. Debido a que la coagulación de proteínas y el hinchamiento del almidón ocurren en el mismo rango de temperaturas, se presenta una competencia entre ambos fenómenos durante la cocción. Cuando las interacciones entre proteínas en la red continua prevalece, se hidrata lentamente el material del almidón quedando atrapado dentro de la red causando una pasta cocida firme sin pegajosidad en la superficie; sin embargo, cuando la red proteica no está suficientemente fuerte y elástica, el almidón tiende a hincharse y gelatinizar ante la coagulación de las proteínas, en este sentido la amilosa va principalmente en el agua de cocción y la amilopectina se desplaza en la superficie de la pasta obteniendo una textura pobre (De Noni & Pagani, 2010).

3.5. Composición proximal de la pasta

La Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980 indica que la pasta tipo I, elaborada a partir de semolina, la composición proximal mínima es de 0.7 y 9.5% para los contenidos de minerales y proteínas, respectivamente; un nivel máximo de 2.5% de grasa y un promedio de 14% de humedad. La pasta elaborada a base de harina de trigo tiene un elevado contenido en carbohidratos, hasta del 75%. Estos carbohidratos proporcionan aproximadamente 370 kcal, lo que representa aproximadamente el 18.5% de las necesidades de una persona (Escalante, 2019).

La composición proximal de la pasta depende de la naturaleza y proporción de sus materias primas. (Ortiz, 2017) propuso la elaboración de pastas alimenticias a base de harina de arroz, quinoa y chía destinadas a regímenes alimenticios sin gluten. En su estudio se formularon 3 tratamientos de pastas PA (100% arroz), PAQ (70% arroz- 30% harina pregelatinizada quinoa) y PAQC (70% arroz- 25% harina pregelatinizada quinoa - 5% harina cruda chía), donde sus resultados indican un mayor contenido de proteína, grasa y fibra al incorporar quinoa y chía a una pasta de arroz, pero también hay un descenso en los carbohidratos (Ortiz Márquez, 2017). En un segundo estudio, realizado por (Rodríguez et al., 2022) observaron que una pasta tipo espagueti elaborada a partir de orujo de uva y amaranto en una formulación 50-50% presentó 16.77% de proteína, 15.37% de grasas totales, 30.44% de fibra total y una humedad 6.45%. Pero al incrementar la participación del orujo un 10% más, se incrementaron sus niveles de proteína y humedad, pero aumentó en contenido de grasa.

3.6. La Melatonina

El nombre de melatonina se deriva de “mela” por su efecto blanqueante y “tonina” por la serotonina, siendo su nombre químico N-acetil-5-metoxitriptamina. La melatonina se compone de un indol que está unido a los grupos 3-amida y 5-alcoxi (Figura 1), lo que le da la característica anfifílica (Mimenza, 2016). Desde un punto de vista fisicoquímico, la melatonina se compone de un polvo blanco con peso molecular de 232.28 g/mol, punto de fusión de 116.5-118°C y punto de ebullición de 512.8°C (Omer et al., 2021).

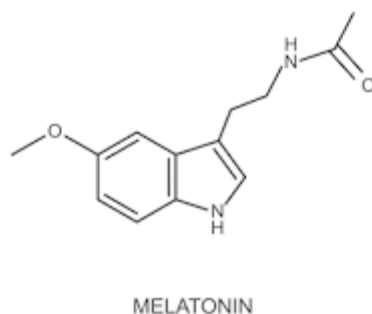


Figura 1. Estructura química de la melatonina (Poza et al., 2022)

3.6.1. Síntesis

La melatonina es una hormona que se sintetiza en la glándula pineal de animales a partir del triptófano, para regular los ciclos circadianos (Back et al., 2016). En otros organismos, como bacterias, protozoos, hongos y plantas, es producida para cumplir múltiples funciones, entre ellas combatir el estrés oxidativo derivado de su metabolismo aerobio (Manchester et al., 2015). En los seres humanos se ha observado que a mayor oscuridad hay un alto nivel de melatonina mostrando un pico de secreción entre las 2 y 4 am; en cambio, disminuyen sus concentraciones en exposición a la luz. Además, la melatonina también puede ser producida en el tracto gastrointestinal siendo así sus niveles más altos que en la glándula pineal (Mimenza, 2016). La síntesis de melatonina es dependiente de la captación de triptófano desde el torrente sanguíneo por los pinealocitos, las células de la glándula pineal, continuando con cuatro reacciones química-enzimáticas (Figura 2). Cuando ya está completa la melatonina se difunde al sistema vascular por medio de un mecanismo de difusión simple y se digiere a las células, tejidos blancos como el cerebro y fluidos como la orina y saliva. En un corto tiempo la melatonina logra alcanzar todos los tejidos del cuerpo (Poncela, 2014).

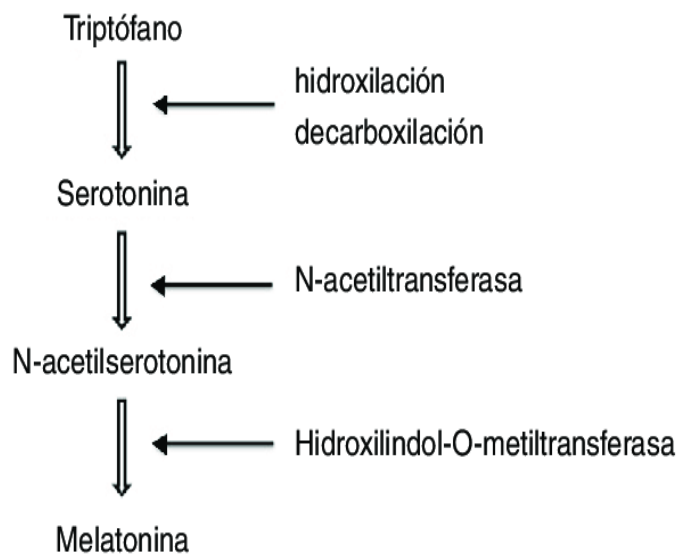


Figura 2.. Síntesis de melatonina a partir de Triptófano (Poza et al., 2022)

La producción de melatonina en el ser humano es variable, pues además de factores genéticos, la dieta juega un papel muy importante. El consumo de alimentos como legumbres, frutos secos, pescado, leche, arroz y frutas como el plátano incrementa la producción de melatonina debido a su alto contenido de triptófano. Otros como el alcohol provoca una disminución. También, las estaciones del año muestran cambios de producción de melatonina dado que en invierno el pico es mayor de la hormona debido a que los días en esta estación son más cortos por cual hay más horas de oscuridad que de luz en comparación con verano que los días son más largos. La melatonina tiene una estrecha relación con el ritmo circadiano. Esta hormona favorece la regulación del sueño permitiendo los ciclos de sueño-vigilia (Back et al., 2016).

3.6.2. Propiedades funcionales de la melatonina

La melatonina tiene un gran potencial antioxidante. Sus metabolitos derivados activan la cascada de enzimas antioxidantes tales como catalasa, superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y glutatión reductasa, que consiguen atravesar con mayor accesibilidad al sistema nervioso central y así protegerlo contra el estrés oxidativo de las especies reactivas (Tan et al., 2021). El mecanismo de protección se fortalece cuando la melatonina cede electrones, lo que ayuda a la reducción de radicales libres, la lipoperoxidación, formación de carbonilos, el daño secundario de ADN y la apoptosis. De igual manera se ha observado que la melatonina incrementa la

actividad de otros antioxidantes como la vitamina C y vitamina E, y es al menos dos veces más potente que esta última. Otra característica que presenta la melatonina es que no participa en ninguna reacción de redox después de eliminar radicales libres, por el contrario, se transforma en metabolitos estables dando así un antioxidante terminal o suicida (Mannino et al., 2021). Esta hormona tiene efecto antiobesivo ya que ayuda al balance energético de no sufrir alteraciones debido a que actúa como reloj biológico lo que hace que el organismo sepa cuando se encuentra de día o de noche, si el balance energético presenta desequilibrio conduce a la acumulación de la energía sobrante en depósitos grasos, pues no hay un equilibrio entre la energía ingerida y la energía gastada causando la obesidad. Entre otras propiedades terapéuticas, se ha demostrado que la melatonina mejora el sistema inmune, reduce la presión arterial y presenta propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas neuroprotectoras, antienviejimiento y cardioprotectoras (P. Kubatka et al., 2001).

3.6.3. La melatonina en los alimentos

En las plantas, la melatonina es conocida como fitomelatonina (Murch & Erland, 2021), y su contenido es muy variable, oscilando desde picogramos hasta microgramos por gramo de planta (Qi et al., 2024). Generalmente, las plantas medicinales y aromáticas, como la menta (*Mentha piperina*) y tomillo (*Thymus vulgaris*), presentan mayores niveles que los frutos frescos y semillas, a excepción del café (5800 a 7466.6 ng/g). Entre los frutos, el tomate (*Solanum lycopersicum*), las cerezas dulces y agrias (*Prunus avium* y *Prunus cerasus*) y el arándano (*Vaccinium macrocarpon*) poseen cantidades importantes, de 9.44, 15.050 y 11.370 7 96 ng/g, respectivamente, mientras que, entre los cereales, el arroz (*Oryza sativa*) presenta el mayor contenido (55.5 ng/g), superior a 31.55 y 33.42 ng/g de la avena (*Avena sativa*) y el trigo (*Hordeum vulgare*), respectivamente (Arnao et al., 2019).

La presencia de melatonina en los productos vegetales es materia de creciente interés debido a sus propiedades antioxidantes y posibles beneficios a la salud de los consumidores, y aunque la melatonina se encuentra en diferentes productos, sus concentraciones son relativamente bajas. Para incrementar su rendimiento, en el campo, algunos cultivos son manejados en condiciones de estrés para favorecer la producción de la fitomelatonina, aunque esta es una práctica poco aceptada. En contra parte, la aplicación exógena de la hormona, como bioestimulante, constituye

una alternativa viable (Reiter et al., 2010), que ha incrementado las concentraciones de melatonina en productos como el germinado de frijol (*Phaseolus vulgaris*), y frutas frescas como naranja, piña y plátano (Andersen et al., 2016).

La suplementación de productos alimenticios con melatonina artificial constituye una alternativa para compensar las pérdidas postcosecha. La diferencia de usar fitomelatonina radica en el bajo rendimiento de su extracción (Arnao et al., 2019). Sea fitomelatonina o melatonina artificial, sus efectos han sido demostrados en distintos sistemas alimentarios. En jugos pasteurizados de manzana, la adición de melatonina inhibe la conversión de compuestos o-difenólicos responsables de su oscurecimiento; además de que favorece la estabilidad del alimento por inhibición de la formación de hongos, levaduras y bacterias en jugo sin pasteurizar (Zhang et al., 2018). En el yogur fortificado con melatonina (3 mg/L) y vitamina B12 ($\mu\text{g/L}$), la incorporación de este compuesto conllevó a un producto con menor contenido de grasa y mayor porcentaje de humedad, que sugieren que la melatonina podría establecer enlaces con el gel de proteínas dando a lugar a una estructura más compacta y firme (Jurado et al., 2023).

En el campo de la panificación la melatonina también ha sido objeto de estudio. En la evaluación de la formación y estabilidad en la fermentación de la masa (0-180 min, 30°C) y horneado del pan (215°C/17 min), se encontró que un isómero de melatonina aumentó de 4.02 a 16.71 ng/g después de 90 min de fermentación; y que su contenido disminuyó a la temperatura de cocción manejada, principalmente en la corteza del pan, con un efecto decreciente hacia el interior de la miga. En la combinación de ambos tratamientos, a mayores tiempos de fermentación ocurrió una menor degradación de melatonina, debido a la acumulación de CO₂ y etanol, que limitan la transferencia de calor al interior de la masa durante su horneado (Yilmaz et al., 2014).

III. JUSTIFICACIÓN

La pasta es un alimento de alta demanda a nivel mundial. De los productos a base de trigo, después del pan, la pasta es el alimento de mayor consumo (Alamprese, 2017). Se estima que cerca de 17 millones de toneladas son producidas anualmente a nivel mundial (Cruz, 2021). En México, la pasta también es un alimento popular, pues su consumo per cápita oscila los 11 kg anuales, lo que explica que el 99% de las familias mexicanas compren pastas al menos 25 veces al año, siendo los tres tipos de pasta con mayor volumen de compra el spaghetti (30%), fideo (23%) y codito (15%) (Cruz, 2019). El consumo de pastas alimenticias ha incrementado en los últimos años (Moposita et al., 2023). En términos de segmentación, las pastas secas se han extendido y posicionado en el mercado debido a su mayor vida de anaquel y facilidad de cocción. Además, de que otros sectores como la industria de servicios de alimentos (restaurantes y cadenas de comida rápida) se proyectan como los responsables del crecimiento en su producción (Reportlinker, 2024). De la mano del incremento en el consumo de pastas, se han elevado los niveles de demanda de productos más saludables, debido a las ventajas que presentan frente a los demás productos convencionales (Moposita et al., 2023). Para mejorar su calidad, investigaciones tecnológicas y nutricionales han permitido el desarrollo de alimentos a partir de amaranto, un pseudocereal rico en aminoácidos esenciales y minerales, como una promesa para suplementar alimentos que no alcanzan los requerimientos nutricionales en cantidad y calidad (Jimoh et al., 2018). La pasta es un producto elaborado con harinas mezcladas con agua, que se pueden enriquecer con ingredientes de alto valor nutritivo (Moposita et al., 2023), incluyendo gomas de polisacáridos, derivados de glicerol, sales inorgánicas, extractos de plantas, fibras dietéticas, vitaminas, pigmentos y antioxidantes (Wang et al., 2018). Pocas investigaciones se han realizado para examinar el uso potencial de ingredientes funcionales para producir una pasta enriquecida con compuestos derivados de plantas con efectos benéficos para los consumidores (Bustos et al., 2015).

Las pastas elaboradas con amaranto y sus derivados presentan atributos de calidad nutricional, como es el mayor porcentaje de proteína, grasa, fibra cruda y cenizas; pero exhiben mayores pérdidas por cocción (Hernández, 2012). Por lo descrito anteriormente, en el presente trabajo se hace una propuesta de una pasta de sémola

parcialmente sustituida por harina de amaranto y la adición de melatonina, con el fin de mejorar sus propiedades fisicoquímicas y de cocción

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar la calidad de pastas de semolina-amaranto adicionadas con melatonina y carboximetilcelulosa como ingredientes tecnológicos.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la incorporación de melatonina y carboximetilcelulosa como aditivos tecnológicos en la calidad fisicoquímica de pastas tipo fideo de semolina-amaranto.
- Evaluar la calidad de cocción de pastas tipo fideo de semolina-amaranto adicionadas con melatonina y carboximetilcelulosa como aditivos tecnológicos.
- Determinar las propiedades de textura en pastas tipo fideo de semolina-amaranto adicionadas con melatonina y carboximetilcelulosa como aditivos tecnológicos.

V. MÉTODOS

5.1. Formulación de una pasta a partir de mezclas de cereales

Como fase preliminar se formularon 6 masas a partir de la mezcla de harina de arroz: amaranto: sémola siguiendo las proporciones indicadas en la Tabla 1. Para ello, 60 g de mezcla de harinas (arroz, amaranto y semolina) se mezclaron con 0.15 g de sal, 1 g de aceite de oliva y suficiente agua para obtener una masa con 32% de humedad. Las masas se amasaron por separado de forma manual durante 20 min, seguido de un reposo por 20 min. De acuerdo con la calidad de las mezclas y el tiempo de cocción de las pastas elaboradas se eligió una como formulación de trabajo de este estudio.

Tabla 1. Formulaciones de mezclas de cereales

Grupo	Tratamiento
1	Semolina 100%
2	Semolina: Amaranto (80:20)
3	Semolina: Amaranto: Arroz (80:10:10)
4	Semolina: Amaranto: Arroz (60:30:10)
5	Semolina: Amaranto: Arroz (40:50:10)
6	Semolina: Amaranto: Arroz (20:70:10)

5.2. Elaboración de la pasta

A partir de las mezclas de la fase preliminar se plantearon cuatro formulaciones de trabajo (Tabla 2) para evaluar el efecto de la inclusión de melatonina y carboximetilcelulosa como ingredientes tecnológicos en la pasta.

Tabla 2. Formulaciones de trabajo

Grupo	Tratamientos
Control	Semolina: 100%
SA	Semolina: Harina de amaranto (80:20)
SAC	Semolina: Harina de amaranto (80:20) + 2% CMC
SACM	Semolina: Harina de amaranto (80:20) + 2% CMC + Melatonina

Para la elaboración de las pastas se procedió a mezclar las harinas con el resto de los ingredientes secos. Se incorporó el aceite y finalmente poco a poco el agua hasta ajustar las masas a 32% de humedad (Rueda, 2007). En todos los tratamientos se emplearon 1% de sal y 5% de aceite en base al peso de las harinas. La CMC y Melatonina se incorporaron en función del peso de la masa. El resto de las proporciones de CMC y Melatonina se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Formulaciones de trabajo

Tratamiento	Semolina (%)	Harina de amaranto (%)	CMC (%)	Melatonina (mg/100g masa)
Control	100			
SA	80	20		
SAC	80	20	2	
SACM	80	20	2	3

(Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

Por separado, cada masa fue amasada manualmente por 20 min, seguido de un reposo de 20 min. Posteriormente, con ayuda de una máquina manual se laminó la masa para obtener hojas de 0.5 mm de grosor. Después se moldeó para obtener fideos largos que fueron cortados a 3 cm de longitud (Figura 3). Los fideos se secaron en un horno-deshidratador a 95°C durante 20 min. La pasta fue enfriada antes de almacenarse en bolsas de polipropileno selladas.

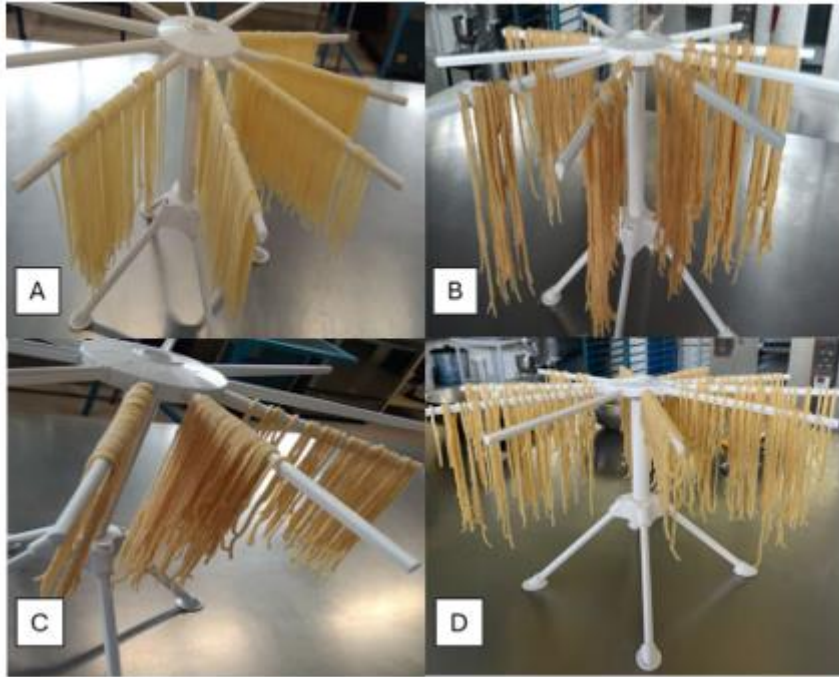


Figura 3. Exposición de fideos tras el modelo (A: 100% semolina; B:SA; C:SAC; D:SACM)

5.3. Determinación de las propiedades fisicoquímicas de las pastas

5.3.1. Contenido de humedad

La determinación de humedad se utiliza como factor de calidad y control de conservación de un alimento, pues permite saber la cantidad de líquidos que contiene el alimento y la cantidad de sólidos. En el presente trabajo se realizó a través del método de secado por estufa 44 – 16 (A.O.A.C., 2003). Para ello, en la balanza analítica (Biomedica BA2204C) se pesaron 10 g de muestra en charolas a peso constante. Se llevaron a la estufa de secado (Craft) a 105°C durante 4 h y/o hasta peso constante. Se enfriaron en un desecador. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado. El contenido de humedad se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W1 - W2}{W} \times 100$$

Donde:

W1: Peso de la charola con muestra húmeda

W2: Peso de la charola con muestra seca

W: Peso de la muestra húmeda

5.3.2. Contenido de minerales

La determinación de cenizas representa el contenido total de minerales dentro de un alimento por lo que es importante este análisis en la evaluación nutricional del alimento. En el presente trabajo se realizó siguiendo la metodología 923.03 (A.O.A.C., 2003). Por triplicado, se pesaron 2 g de muestra en la balanza analítica (Biomédica BA2204C) en crisoles secados previamente a peso constante. Sobre un triángulo de porcelana y con ayuda de un mechero bunsen se calcinó la muestra lentamente hasta su calcinación. Posteriormente, los crisoles con muestra fueron llevados a una mufla (Felisa, modelo FE-361) a 525-550°C hasta que las cenizas presentaron un color grisáceo que indicó la ausencia de carbono. Finalmente fueron llevados a un desecador para su enfriamiento. El cálculo de contenido de cenizas presentes en la pasta se hizo a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Minerales} = \frac{W1 - W2}{W} \times 100$$

Donde:

W1: Peso del crisol con muestra calcinada

W2: Peso del crisol

W: Peso de la muestra

5.3.3. Contenido de grasa cruda

El contenido de lípidos libres, los cuales consisten fundamentalmente de grasas neutras (triglicéridos) y de ácidos grasos libres, se puede determinar en forma conveniente en los alimentos por extracción del material seco y reducido a polvo con una fracción ligera del petróleo o con éter dietílico en un aparato de extracción continua o semicontinua. En el presente trabajo la determinación de grasa total se realizó de acuerdo con el Método Soxhlet 920.309 (A.O.A.C., 2003). Para ello,

aproximadamente 9 g de muestra fueron colocados cartuchos de celulosa que fueron llevados a vasos Büchi a peso constante. Se agregó éter de petróleo, y los vasos fueron colocados en el equipo de extracción de grasa Büchi (modelo EB16-HE) durante 4 h (3 h de extracción, 30 min de lavado y 30 min de secado). Posteriormente cada cartucho fue retirado para proceder con la remoción del disolvente por evaporación en estufa durante 15 min, seguido de su enfriado en un desecador. Todas las muestras fueron analizadas por triplicado. El peso del vaso Büchi con el extracto etéreo fue utilizado para el cálculo de la grasa total, a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa cruda} = \frac{W1 - W2}{W} \times 100$$

Donde:

W1: Peso del vaso Büchi con extracto etéreo

W2: Peso del vaso Büchi

W: Peso de la muestra.

5.3.4. Contenido de fibra cruda

En este trabajo, el contenido de fibra cruda se determinó con el método 962.09 (A.O.A.C., 2003). Para ello, por triplicado, 8 g de pasta desengrasada fue transferida por separado a los vasos Berzelius, a los que añadieron 200 mL de H₂SO₄ al 0.255 N. Los vasos se colocaron en el equipo de determinador de fibra de la marca (Labconco) y modelo (LAC300001-00) a temperatura de ebullición durante 30 min. El residuo fue filtrado empleado un embudo de cristal y tela. El residuo fue lavado con agua caliente hasta obtener un pH neutro. Con ayuda de una espátula el residuo fue removido y pasado nuevamente al vaso. Se añadieron 200 mL de NaOH 0.313 N y se llevó al equipo para su digestión a temperatura de ebullición por 30 min. Después se filtró, se le agrego 25 mL de H₂SO₄ al 0.255 N caliente, 150 mL de agua y 15 mL de alcohol. El residuo fue llevado a un crisol a peso constante y se secó en estufa a 130°C durante 2 hrs. Por último, se calcinó en una mufla a 550°C por 30 min. Una vez enfriado en un desecador, el residuo se pesó para hacer el cálculo de % de fibra cruda, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{W1 - W2}{W} \times 100$$

Donde:

W1: Peso del crisol con muestra seca

W2: Peso del crisol con muestra calcinada

W: Peso real de la muestra.

5.3.5. Contenido de proteínas

La determinación del contenido de proteína en las pastas se realizó siguiendo el protocolo 955.04 (A.O.A.C., 2003). Para ello se inició con la preparación de la mezcla digestora a partir de 4.5 g de CuSO_4 de partícula fina y 40.5 g de K_2SO_4 , en paquetes de 5 g en papel libre de nitrógeno.

Esta técnica se llevó a cabo en tres etapas: digestión, destilación y titulación. Para la digestión, por triplicado, en cada tubo Kjeldahl se añadieron 15 mL de H_2SO_4 concentrado, 5 g de mezcla digestora en papel libre de nitrógeno y 0.5 g de muestra seca y empacada en papel libre de nitrógeno. Los tubos se llevaron al Digestor (Büchi SpeedDigester modelo K-436) por aproximadamente 4 h hasta que la solución tuvo un tono verde celeste. Los tubos se enfriaron y se le agregaron 20 mL de agua destilada. En la destilación, los tubos a temperatura ambiente fueron llevados al destilador (Büchi, modelo K-350), así como un matraz Erlenmeyer con 50 mL de H_3BO_3 al 2% p/v y 2 gotas de rojo de metilo como indicador, se colocaron en la boquilla de la salida del destilador por un intervalo de 5 min aproximadamente. Finalmente, en la titulación, el líquido destilado fue tratado gota a gota con H_2SO_4 al 0.1 N hasta que se observó un tono anaranjado en la solución.

El cálculo del % de nitrógeno orgánico se hizo a través de la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{(Vm - Vb) \times 0.014 \times NH_2SO_4}{M} \times 100$$

Donde:

V_m: mL de H₂SO₄ gastados en la muestra

V_b: mL de H₂SO₄ gastados en el blanco

N: Normalidad de H₂SO₄

M: Peso de la muestra.

Para la determinación de Proteína se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%P = \%N \times 6.25$$

5.3.6. Color

Para la medición de color en las pastas, cada una de ellas fue pasada por un molino y refinada empleando una malla 0.05 mm. Las harinas resultantes fueron colocadas y empacadas en un contenedor con fondo blanco, que fueron recubiertas con plástico adherible. El colorímetro (marca 3nh, modelo NR 110), con un iluminador D65 y un ángulo de 10° fue colocado sobre las muestras, para tomar la lectura de los componentes de color (L*, a*, b* y C), empleando los fondos negros y blancos provistos por el fabricante para la calibración previa del instrumento. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

De los componentes de color, L* mide el grado de luminosidad o claridad del color, a* indica los tonos rojizos-verdes; b* el amarillamiento-azulado, C (cromaticidad) la saturación del color, °h (ángulo hue) mide el tono, y ΔE (diferencia de color total) expresa el grado de distorsión de color con base a una referencia.

El cálculo del ángulo de matiz (°h), la cromaticidad (C) y la diferencia de color total (ΔE) se calcularon con las siguientes fórmulas (Konica, 2024):

$$^{\circ}h = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

5.4. Determinación de la calidad de cocción de pastas

5.4.1. Prueba de cocción

Se pesaron 20 g de pasta seca que fueron colocados en 200 mL de agua hirviendo. Con ayuda de un cronómetro se midió el tiempo requerido para que desapareciera el centro blanco. Una vez conseguido, se extrajo la pasta con ayuda de un colador, se drenó y dejó enfriar a temperatura ambiente (Ortiz, 2017). Esta prueba se realizó por triplicado.

5.4.2. Pérdidas por cocción

Se utilizó la metodología estandarizada por la A.A.C.C. 66-50.01 (A.A.C.C., 2000). En el cual, por triplicado, se pesaron 10 g de pasta y se colocaron en 100 mL de agua a ebullición durante 5 min. La pasta se escurrió y el agua de cocción a temperatura ambiente se centrifugó a 1200 rpm por 10 min para posteriormente desecar el sedimento en una estufa a 100°C hasta peso constante. Finalmente se pesó el residuo. El % de pérdida por cocción se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pérdida por cocción} = \frac{\text{Peso del residuo seco}}{\text{Peso de la pasta seca}} \times 100$$

5.4.3. Sólidos solubles totales en agua de cocción

Se tomó una alícuota del agua de cocción a temperatura ambiente y se colocó en un refractómetro (Marca Atago, modelo Smart-1). Los resultados se expresaron como % de sólidos solubles totales (% SST) (Ortiz, 2017).

5.4.4. Capacidad de absorción de agua y porcentaje (%) de hinchamiento

Por triplicado, se pesaron 10 g de pasta seca y se llevó a cocción en agua hirviendo durante 2 min. Una vez cocida, la pasta se colocó en un embudo Buchner y se escurrió por 10 min. Se registró el peso de la pasta. El cálculo de capacidad de absorción de agua (%) se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Capacidad de absorción} = \frac{\text{Peso pasta cocida} - \text{Peso pasta seca}}{\text{Peso de la pasta seca}} \times 100$$

El porcentaje de hinchamiento fue estimado con los resultados de las pruebas de volumen en pasta seca y cocida (5.5.4) para sustituirlos en la siguiente fórmula (kamble, 2022).

$$\% \text{ Hinchamiento} = \frac{\text{Volumen pasta cocida} - \text{volumen pasta seca}}{\text{Volumen pasta cocida}} \times 100$$

5.4.4. Porcentaje de Incremento de volumen

En una probeta graduada de 500 mL que contenía 150 mL de agua se colocaron cuidadosamente 25 g de pasta seca, evitando que se generaran burbujas de aire. Por desplazamiento del agua, se anotó el volumen alcanzado luego de agregar la pasta. El mismo procedimiento fue seguido para 25 g de pasta cocida. En ambos casos, se realizó por triplicado. El cálculo del incremento de volumen se realizó con la siguiente fórmula (Ortiz, 2017):

$$\% \text{ Incremento de volumen} = \frac{\text{Volumen pasta cocida} - \text{volumen pasta seca}}{\text{Volumen pasta seca}} \times 100$$

5.5. Evaluación de Textura de las pastas

El análisis de textura de las pastas secas y cocidas se llevó a cabo usando un texturómetro (marca Stable MicroSystems, modelo TA-X-T PLUS), acoplado a una PC con adquisición de datos y software. Las pruebas de textura se efectuaron en 15 repeticiones cada tratamiento, según el método A.A.C.C. 16-50 (A.A.C.C., 2000). Los análisis de pasta seca y cocida consistieron en el corte simultáneo de 5 fideos de 3 cm de largo, considerando para pasta seca los parámetros de rompimiento, fracturabilidad y dureza; mientras que para la pasta cocida los parámetros de trabajo de corte y firmeza.

5.6. Análisis estadístico

Para una mayor precisión, los experimentos del presente trabajo fueron desarrollados por triplicado, a excepción del estudio de textura que se hicieron 15 repeticiones para cada prueba. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa SPSS versión 29, con un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias Tukey con una confiabilidad del 95% ($p \leq 0.05$).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Selección de pasta formulada a partir de la mezcla de cereales

De los tratamientos evaluados en la fase preliminar (Figura 4), se observó que el ingrediente que aportó la mejor consistencia a la masa y favoreció a la elaboración de pasta es la semolina (Figura 4), debido a su alto contenido de gluten, las pastas son más firmes y muestran menores pérdidas por cocción (Ortiz, 2017). Con relación al nivel de sustitución de semolina, se demostró que es posible la participación de la harina de amaranto en la formulación hasta de un 20%, ya que una mayor proporción afectó la estructura tanto de la masa como de la pasta debido a que la harina de amaranto es un ingrediente libre de gluten, que demanda de una mayor cantidad de agua en la formulación, lo que puede producir una hidratación excesiva de los gránulos de almidón y por lo tanto una masa débil (Hernández, 2012). Por último, aunque la participación del contenido de harina de arroz fue la misma para todas las masas, se reconoció que su adicción a las masas fue una tarea compleja, debido a que este cereal carece de gluten, y en los fideos con más del 50% de amaranto se desintegraron inmediatamente al entrar en contacto con el agua de cocción, debido a una menor fuerza de la masa. Por esta razón, los fideos orientales son elaborados con mezclas harinas de arroz ricas en amilosa y otros cereales, como maíz y papa, y solo es posible su incorporación máxima del 10% y con un mínimo de 60% de semolina (Hsu et al., 2015).

En las pruebas de cocción realizadas a los seis tratamientos preliminares se observó que todas las formulaciones que presentaron sustitución de semolina mostraron menores tiempos de cocción (1:05-1:50 min) que aquella elaborada con 100% semolina (2:05 min) (Tabla 4). En general, el tiempo de cocción de las pastas está relacionado con la estructura de la masa y su capacidad para formar gluten. Una masa elástica presenta un tiempo de cocción mayor a una masa de gluten débil (Wang et al., 2024). En los fideos con menor contenido de semolina ocurrió un ingreso más acelerado de agua durante la cocción, y, por lo tanto, éstos presentaron un menor tiempo de cocción.



Figura 4. Formulaciones preliminares a partir de mezclas de cereales.

Tabla 4. Tiempo de cocción de pastas preliminares

Tratamiento	Tiempo de cocción (Min: Seg)
Semolina 100%	02:05
Semolina: Amaranto (80:20)	01:10
Semolina: Amaranto: Arroz (80:10:10)	01:50
Semolina: Amaranto: Arroz (60:30:10)	01:40
Semolina: Amaranto: Arroz (40:50:10)	01:25
Semolina: Amaranto: Arroz (20:70:10)	01:05

Derivado de lo anterior, como objeto de estudio, se eligió la formulación con 80% de semolina y 20% de harina de amaranto (Figura 5), así como la 100% de semolina, tiene una mejor consistencia y manejo en el moldeado y laminado. Ambas son

estables a la temperatura de cocción y tienen menores pérdidas de sólidos en comparación al resto de los tratamientos.

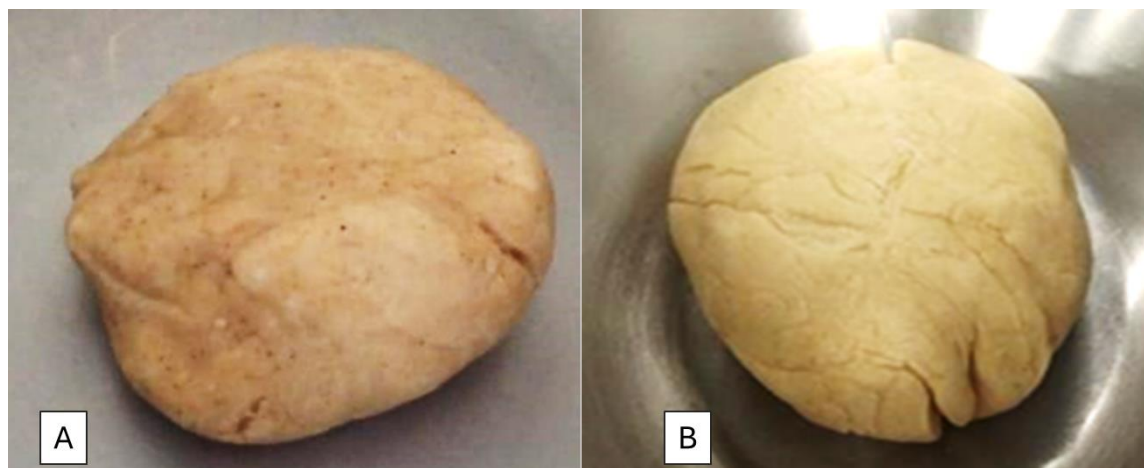


Figura 5. Formulación de trabajo elaborada con 20% de harina de amaranto (A), y tratamiento control de 100% semolina (B).

1.2. Propiedades fisicoquímicas de las pastas

Los resultados de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de las pastas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de las pastas

Grupo	Humedad (%)	Minerales (%)	Grasa total (%)	Fibra cruda (%)	Proteína (%)
Control	10.25 ± 0.27 ^b	1.35 ± 0.03 ^a	5.5 ± 0.20 ^c	0.0066 ± 0.003 ^b	11.36 ± 0.43 ^a
SA	15.66 ± 0.14 ^c	1.56 ± 0.01 ^b	3.8 ± 0.12 ^b	0.2026 ± 0.014 ^c	12.11 ± 0.20 ^b
SAC	10.38 ± 0.02 ^b	1.70 ± 0.07 ^c	4.20 ± 0.0.5 ^b	0.161 ± 0.035 ^b	17.28 ± 0.03 ^c
SACM	9.31 ± 0.30 ^a	2.08 ± 0.02 ^d	2.68 ± 0.20 ^a	0.025 ± 0.034 ^a	12.19 ± 0.16 ^b

Valores con la misma letra ("a", "b", "c",) en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

En los grupos analizados, el contenido de humedad osciló entre 9.31 y 15.66%, con diferencias significativas. El grupo control tuvo una humedad de 10.25%, similar a la presentada por SAC, pero no así para el tratamiento SA, que presentó mayores niveles de todos los grupos. Esto se debe a que el amaranto tiene proteínas con propiedades hidrofílicas, lo que significa que tienen afinidad por el agua y pueden

retenerla, además de carbohidratos que pueden interactuar con el agua durante la preparación (Cárdenas et al., 2016), mientras que en las pastas la carboximetilcelulosa, un coloide hidrofílico aniónico, forma complejos hidrofílicos a través de interacciones hidrofóbicas con las proteínas que reducen la pérdida de agua (Wang et al., 2023). Esta propiedad se ve descompensada por la incorporación de melatonina, un agente altamente hidrofóbico (Ritwiset et al., 2021), que disminuyó la capacidad de la pasta para retener el agua de la formulación. La norma NMX-F-023-NORMEX-2002 establece que la humedad final de una pasta con 80% de semolina no debe exceder el 12.5% de humedad (SEGOB, 2002), por lo cual el tratamiento que no cumple con esta norma es SA (15.66 ± 0.14).

Con relación al contenido de minerales, los tratamientos presentaron valores de 1.35 a 2.08%, siendo el grupo Control el de menor contenido, y SACM el de mayor. La norma NMX-F-023-NORMEX-2002 establece que los minerales de una pasta en base seca no deben exceder del 1.1% (SEGOB, 2002), y el tratamiento que más se acerca a esta recomendación es la pasta control. La participación del amaranto en la fórmula incrementó la concentración de minerales debido a que éste tiene gran cantidad de que presenta sodio en su estructura (Ortiz, 2017) y esto puede aumentar el nivel de cenizas en dichos tratamientos. También se observó que la adición de melatonina incrementa los valores de minerales. A la fecha no hay reportes de que la melatonina sea fuente importante de minerales, pero en este estudio se observó un incremento significativo.

En el contenido de grasa de las pastas analizadas, los valores oscilaron entre 2.68 a 5.5%. El tratamiento que presentó un menor contenido en grasa fue SACM (2.68 ± 0.20), por lo contrario, el tratamiento control contiene mayor porcentaje de grasa. La CMC es un derivado de celulosa con alta capacidad de retención de grasa, cuya interacción en la matriz de la pasta reduce su tasa de extracción y por lo tanto, una menor cuantificación. En cuanto a la norma NOM-F-23-S-1980 nos indica que el contenido de extracto etéreo debe ser máximo de 2.5% en una pasta (SEGOB, 1980), que fue más cercano al valor cuantificado en SACM. En las formulaciones de este estudio, el aceite utilizado es de origen de oliva extra virgen, conocido por sus efectos benéficos para la salud (Rodríguez-Zúñiga et al., 2021).

La fibra dietética es esencial para la nutrición adecuada y una digestión saludable. En las pastas elaboradas, el tratamiento SA presentó el mayor contenido (0.2006%). El amaranto tiene una composición proximal de entre 2.2 y 5.8% de fibra mayor que otros cereales, por lo que su adición incrementa el valor en la pasta, lo que resulta beneficioso para la salud (Robledo, 2014). Aunque el tratamiento SA lidera el contenido de fibra, la incorporación de CMC y melatonina reduce la capacidad de extracción y cuantificación por el método probado.

El contenido proteico de una pasta con 80% de semolina de acuerdo con la norma NOM-F-23-S-1980 debe ser máximo 11% (SEGOB, 1980), en cumplimiento con dicha norma el tratamiento control mostró un 11.38%. Aunque se ve reflejado un incremento en los tratamientos que se le adiciono amaranto gracias a que posee proteína de muy buena calidad nutrimental por contener los aminoácidos esenciales y sobre todo lisina, el aminoácido limitante en otros cereales (Robledo, 2014). En contraste, el porcentaje de proteína es más alto en el tratamiento SA+C (17.28 ± 0.03) debido a que la CMC tiene interacciones iónicas entre su cadena aniónica lo cual es capaz de influenciar en el sistema y proteger a las proteínas, este coloide formado es bastante estable y permanece soluble, evitando la sedimentación de la proteína (Juárez, 2020). Estos resultados son congruentes a lo obtenido por (Martínez et al., 2016), que observó un incremento hasta del 23% en la pasta de semolina sustituida al 30% con harina de amaranto. Por lo contrario, hubo una disminución al agregarle melatonina, con una diferencia mínima con el tratamiento SA.

1.3. Color

Los resultados de los componentes del color (L, a, b, C y °h) se presentan en la Tabla 6. El efecto de la sustitución parcial de amaranto en el color de las pastas se ve reflejado en los valores de los componentes a*, b* y c* ya que son significativamente más altos que el tratamiento control, y que incrementan aún más con la adición de CMC y melatonina. El amaranto es un pseudocereal rico en pigmentos naturales como carotenoides y flavonoides que contribuyen al color amarillo-café observado en las pastas. En este estudio, el tratamiento control posee más alto de luminosidad, así como también de ángulo de matiz (°h) esto se debe por que la sémola tiene un color ligeramente amarillo debido a la presencia de luteína (Hernández, 2012).

Tabla 6. Análisis de color en las pastas

Grupo	L*	a*	b*	C*	Ángulo de matiz °h
Control	87.37 ± 0.065 ^c	1.13 ± 0.02 ^a	15.97 ± 0.02 ^a	16.01 ± 0.02 ^a	85.94 ± 0.07 ^c
SA	82.44 ± 0.175 ^a	2.64 ± 0.06 ^c	19.87 ± 0.29 ^b	20.04 ± 0.30 ^b	82.42 ± 0.07 ^a
SAC	83.48 ± 0.300 ^b	2.43 ± 0.05 ^b	19.89 ± 0.15^b	20.03 ± 0.16 ^b	83.03 ± 0.11 ^b
SACM	82.38 ± 0.060 ^a	2.74 ± 0.03 ^c	20.69 ± 0.17 ^c	20.87 ± 0.16 ^c	82.42 ± 0.14 ^a

Valores con la misma letra ("a", "b", "c") en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

1.4. Calidad de cocción de las pastas

1.4.1. Tiempo óptimo de cocción

Las características de cocción representan los indicadores más importantes para evaluar la calidad de las pastas (L. Luo et al., 2015). El tiempo óptimo de cocción se define como el tiempo requerido para que el centro opaco de la pasta desaparezca (Sui et al., 2006). En el presente trabajo, los tiempos de cocción de las pastas disminuyeron en las pastas sustituidas por harina de amaranto, pasando de 2:05 min en el grupo control a 1:15 min en la pasta SA (Tabla 7). Esto se debe al incremento en la porción de fibra dietética que altera la estructura de la pasta, se acelera la penetración de agua y provoca una gelatinización del almidón más temprana en pastas con menor contenido de gluten (Bianchi, Tolve, Rainero, Bordiga, & Brennan, 2021). En las pastas SAC y SACM la incorporación de la CMC y melatonina provocaron un ligero aumento en los tiempos de cocción en comparación a SA. Esto puede explicarse por medio de una interacción proteína-carbohidrato-melatonina, que reduce la exposición de proteínas a la unión de agua, y acelera la gelatinización del almidón (Sozer & Kaya, 2008).

Tabla 7. Tiempos de cocción de las pastas

Tratamiento	Tiempo de cocción (Min: Seg)
Control	02:05
SA	01:15
SAC	01:25
SACM	01:40

(Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

En diferentes trabajos de investigación se ha comprobado que al sustituir la sémola de trigo por otro cereal se afecta el tiempo de cocción de las pastas (Martinez et al., 2016). Hernández (2012) menciona que existe una correlación negativa entre las cantidades de harina de amaranto y sémola de trigo, donde una cantidad baja de semolina con una cantidad alta de harina de amaranto producen un tiempo de cocción bajo., y que al aumentar la concentración de CMC por arriba de 8.5% se eleva el tiempo de cocción. La consecuencia de este efecto en los tiempos de cocción, además de la reducción en el contenido total de gluten, es que la incorporación de otros ingredientes puede interferir en la red del almidón y el gluten, producir una matriz débil con mayor absorción de agua, y por lo tanto una disminución en el tiempo en la cocción (Aravind et al., 2012). La incorporación de CMC y melatonina compensa en tiempo de cocción la disminución del gluten derivada de la sustitución de semolina, lo que es significativo, pues los consumidores principalmente prefieren fideos con periodos de cocción cortos (W. Wang et al., 2024).

1.4.2. Pérdidas por cocción y sólidos solubles totales

Las pérdidas por cocción también son parámetros que determinan la calidad de una pasta (Ficco et al., 2016). En la presente investigación se observó que las pasta control y SACM presentaron los mayores porcentajes de pérdidas por cocción en comparación a SA y SAAC. En el caso de SA, este presentó el menor porcentaje de sólidos solubles en el agua de cocción (Tabla 8). Estos resultados son congruentes

con lo presentado por (Martínez et al., 2016) en pastas de semolina sustituidas con amaranto.

En la calidad de las pastas, la pérdida de sólidos disueltos no es deseable, ya que afecta la palatabilidad y calidad global de los fideos (Zhou, 2024). Este fenómeno se debe a un desarrollo insuficiente de gluten, lo que provoca el desprendimiento y solubilización de almidón, proteínas y minerales desde la matriz del alimento al agua de cocción. Las pastas con altas pérdidas por cocción pierden su forma si se dejan más tiempo sumergidas en agua caliente (Granito et al., 2014).

Tabla 8. Evaluación de las pérdidas por cocción, grado de absorción, contenido de sólidos solubles y % de hinchamiento de las pastas

Grupo	Pérdidas por cocción (%)	Sólidos solubles en agua de cocción (%)
Control	0.808 ± 0.074 ^c	1.35 ± 0.005 ^d
SA	0.260 ± 0.02 ^a	0.466 ± 0.01 ^a
SAC	0.421 ± 0.04 ^b	1.156 ± 0.015 ^b
SACM	0.805 ± 0.08 ^c	1.26 ± 0.010 ^c

Valores con la misma letra ("a", "b", "c") en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

De acuerdo con los resultados, la sustitución de semolina (SA) incrementó la proporción y exposición de proteínas hidrofóbicas, que reducen su solubilidad en agua, y por lo tanto ocurren menores pérdidas por cocción. Sin embargo, esto no ocurrió con SAC, que, a pesar de presentar menores pérdidas por cocción, fue posible la detección de micropartículas solubles a través del refractómetro, que posiblemente se tratan de minerales y amilosa residuales del amasado (Larrosa et al., 2013). De acuerdo con el método 66-50 (A.A.C.C., 2000), se consideran valores aceptables de pérdidas por cocción aquellas que no excedan el 9%, como ocurre en los tratamientos estudiados.

Por otra parte, de acuerdo con Torres et al, (2009), la sustitución de harina o fuente de trigo provoca un incremento en las pérdidas por cocción. Por lo tanto, la incorporación del amaranto mejora la capacidad del gluten para retener los gránulos

de almidón durante la cocción lo que significa que menos materia se disolvería en el agua de cocción (Vedia et al., 2016). Sin embargo, una sustitución excesiva o la incorporación de ingredientes no convencionales a la masa para pasta puede inhibir la formación de gluten capaz de atrapar almidón gelatinizado por la cocción, lo que provoca que este sea arrastrado y solubilizado en el agua de cocción (Hernández, 2012).

1.4.3. Capacidad de absorción de agua y Porcentaje (%) de hinchamiento

Se le llama absorción a la cantidad de agua que puede absorber un producto durante su cocimiento; y en una pasta, la capacidad de absorción de agua puede reflejar el grado de hinchamiento del almidón durante la cocción (L. Luo et al., 2015). En las pastas evaluadas, el tratamiento Control presentó la mayor capacidad de absorción de agua (123.57 ± 1.21) y % de hinchamiento (54.3 ± 2.19) en comparación al resto de los tratamientos (Tabla 9). En las pastas con amaranto, una menor retención de agua se puede deber al tamaño de los gránulos de almidón, que, al ser más pequeños en el amaranto, quedarían mayormente atrapados en la red de gluten. Por otra parte, el incremento en el hinchamiento de SAC (38.76 ± 4.88), se puede atribuir a una disrupción física de la matriz de gluten por la CMC, que incrementa las interacciones hidrofílicas con el agua de cocción y facilita la penetración de agua al centro de la pasta. Los resultados encontrados en la pasta SAC difieren con Gimeno et al, (2004) que encontraron que la CMC descendió la absorción de agua porque se anticipa a retener el agua que el almidón requiere para hincharse, así como a los hallazgos de Aravind et al, (2012), quienes afirman que la incorporación de CMC a pastas de semolina no tienen efectos sobre las propiedades de cocción. Otros factores como la composición de proteínas y almidón, el contenido de almidón dañado, la difusividad de agua al centro de la masa, el tiempo de cocción, el diámetro del fideo y la temperatura de secado afectan la capacidad de hinchamiento y absorción de agua de la pasta (Granito et al., 2014).

Tabla 9. Capacidad de absorción de agua y % de hinchamiento

Grupo	Capacidad de absorción de agua (%)	Hinchamiento (%)
Control	123.57 ± 1.21 ^d	54.3 ± 2.19 ^c
SA	72.64 ± 1.27 ^a	21.66 ± 1.72 ^a
SAC	79.60 ± 1.45 ^b	38.76 ± 4.88 ^b
SACM	88.39 ± 1.43 ^c	24.85 ± 5.58 ^a

Valores con la misma letra ("a", "b", "c") en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

1.4.4. Porcentaje de Incremento de volumen

En cuanto a la determinación del % de incremento de volumen, como se puede observar, las pastas con amaranto presentaron un menor cambio en su volumen en comparación con la pasta control (126.02%). Estos resultados concuerdan con los hallazgos de (Kaur et al., 2013), quien reportó que las pastas con alto contenido en proteína se expanden más durante la cocción e incrementan su volumen, lo que se atribuye al tamaño de la partícula de proteína que presenta una mayor capacidad de hidratación. De acuerdo con Robledo (2014) se espera que una pasta duplique su volumen después de 10 min de ser hervida con agua, al mismo tiempo que mantiene su forma y firmeza. Esto ocurre gracias a los gránulos más grandes de almidón presentes en el trigo. El grado de hinchamiento es un reflejo de la capacidad de absorción de agua, donde la amilosa y amilopectina se disuelven en el agua de la formulación, produciendo una pasta más viscosa (L. J. Luo et al., 2015). Por otro lado, los tratamientos que se le adicionaron amaranto presentaron menores cambios en su volumen, siendo mayor para SAC (65.28%) que para SA (34.48%) y SACM (27.58%). De acuerdo con (Bustos et al., 2015), una pasta con calidad tecnológica está formada por una red continua de proteínas de gluten coaguladas que atrapan a los gránulos de almidón y así limitan su hinchazón y lixiviación en el agua de cocción, dando a lugar a una pasta con baja pérdida de cocción, absorción de agua e índice de hinchamiento, al mismo tiempo que firmes con baja adhesividad (Bustos et al., 2015), lo que indica que la incorporación de CMC y Melatonina favorecen las propiedades tecnológicas de la pasta.

1.5. Análisis de textura de las pastas

La textura es un parámetro de calidad en las pastas debido a que la composición de las harinas, especialmente de trigo rico en gluten, aportan perfiles de textura como son la masticabilidad y elasticidad (Hernández, 2012). Los resultados de la evaluación de los atributos de rompimiento, fracturabilidad y dureza de las pastas secas se muestran en la Tabla 10. El rompimiento hace referencia a la fuerza que se aplica hasta que la pasta comienza a romperse, la fracturabilidad es el pico inicial de fuerza manifestado durante la primera compresión que se reconoce porque el alimento se revienta o desmorona (González, 2015), mientras que la dureza se relaciona con la fuerza de la estructura bajo un primer ciclo de compresión, y que es requerida para su deformación (Faheid et al., 2022). En esta tabla se puede observar que el grupo SA presentó los mayores valores para las tres variables de estudio, en contraste con el grupo control, que mostró los datos menores. En las pastas de semolina, el gluten está presente en estructuras con forma de cuña que se localizan entre los gránulos de almidón ovoide, formando una red proteica a través de enlaces cruzados proteína-proteína mismo que se transforma en un material elástico y gomoso consiguiendo la capacidad de crear cadenas y láminas por medio del establecimiento de puentes intramoleculares, lo cual es importante para su desarrollo como matriz continua que encapsula al almidón en la pasta manteniendo la forma desde su elaboración hasta la cocción (Robledo, 2014). Estas condiciones favorecen a que la pasta presente menor resistencia al rompimiento y fracturabilidad (Sissons et al., 2016). Con relación al tratamiento SA, éste presentó mayores valores de rompimiento ($0.2533 \text{ N/mm}^2 \pm 0.08595$), fracturabilidad ($10.1664 \text{ } 0.2533 \text{ mm} \pm 0.65724$) y dureza ($0.1400 \text{ } 0.2533 \text{ N/mm}^2/\text{s} \pm 0.09832$) al tener presencia del amaranto, que es rico en proteína, y mientras mayor sea la participación de estas biomoléculas, más fuerte es la pasta (CORO, 2015). Aunque el amaranto no desarrolla gluten, el mayor porcentaje de humedad en SA en comparación de los otros tratamientos hace que su textura sea de menor calidad. También se puede ver que la incorporación de la CMC y la Melatonina reducen la dureza de la pasta a valores cercanos al grupo control, sin diferencias significativas entre ambas.

Tabla 10. Perfil de textura de las pastas secas

Grupo	Rompimiento (N/mm ²)	Fracturabilidad (mm)	Dureza (N/mm ² /s)
Control	0.0360 ± 0.00828 ^a	8.3667 ± 0.28552 ^a	0.0080 ± 0.00632 ^a
SA	0.2533 ± 0.08595 ^c	10.1664 ± 0.65724 ^c	0.1400 ± 0.09832 ^b
SAC	0.0807 ± 0.02017 ^b	8.6593 ± 0.44588 ^{ab}	0.0170 ± 0.01252 ^a
SACM	0.0980 ± 0.0264 ^b	8.9033 ± 0.59291 ^b	0.0267 ± 0.01557 ^a

Valores con la misma letra ("a", "b", "c") en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

En la pasta cocida, las propiedades de textura son un parámetro importante que determina la aceptación global por los consumidores (Ainsa et al., 2022). En la tabla 11 se observan los resultados de la evaluación de firmeza y trabajo de corte de las pastas de este estudio. Como se puede observar, con la cocción, la tendencia en la textura de las pastas fue mantenida respecto a las pastas secas. La sustitución de semolina por amaranto en el tratamiento SA produjo fideos con mayor firmeza ($954.30 \text{ g} \pm 99.51$) y trabajo de corte ($7183.407 \text{ g}\cdot\text{cm} \pm 1464.81$). Sin embargo, la adición de CMC y su combinación con melatonina redujeron el efecto de la sustitución, produciendo fideos más suaves. Estos resultados están relacionados con el desarrollo del gluten y el papel importante que ejerce el agua durante la cocción. Al cocinar la pasta de trigo duro, la gelatinización del almidón y la coagulación de proteínas provocan importantes cambios estructurales y esto impacta en la textura. Cuando la pasta es cocida la proteína absorbe agua y se hincha más rápido que el almidón por lo que causa una hidratación de fracción proteica antes de la gelatinización del almidón haciendo una pasta más firme y de buena calidad (Dexter, 2004). Además, si la red de gluten no se desarrolla ocasiona a que los gránulos de almidón se hinchen se dispersen durante la cocción causando una estructura más débil y produciendo una pasta con menor cohesividad, de igual manera el gluten puede disminuir la lixiviación del almidón, así como su hinchazón debido a que puede modificar la disponibilidad del agua en el almidón (Sozer & Kaya, 2008).

Tabla 11.Perfil de textura en pastas cocidas

Grupo	Firmeza (g)	Trabajo de corte (g·cm)
Control	304.71 ± 99.51 ^a	1243.430 ± 174.90 ^a
SA	954.30 ± 99.51 ^c	7183.407 ± 1464.81 ^b
SAC	281.52 ± 45.27 ^a	1076.828 ± 507.41 ^a
SACM	617.24 ± 104.85 ^b	1491.166 ± 275.75 ^a

Valores con la misma letra ("a", "b", "c") en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$). (Control): 100% semolina, (SA): Semolina-Amaranto, (SAC): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa, (SACM): Semolina-Amaranto-Carboximetilcelulosa-Melatonina.

VII. CONCLUSIONES

Los tratamientos que fueron parcialmente sustituidos con harina de amaranto “SA, SAC y SAM” mejoraron significativamente el valor nutrimental de la pasta en cuanto a minerales, proteína y fibra debido al alto perfil nutricional que presenta este pseudocereal, sin embargo la adición de melatonina en el tratamiento SACM aumentó el valor de minerales y proteína en comparación con el tratamiento control, si bien hasta el momento no hay alguna investigación que compruebe que la melatonina sea fuente importante de minerales y proteína no obstante en esta investigación hubo un reflejó de ello.

Con referencia a la evaluación de color se pudo observar que el tratamiento control posee más alto nivel de luminosidad, así como también de ángulo de matiz ($^{\circ}h$), ya que la sémola tiene un color ligeramente amarillo debido a la presencia de luteína (Hernández, 2012), sin embargo se observó que la adición de amaranto en los tratamientos se ve reflejado en los componentes a^* , b^* y c^* en comparación con el tratamiento control, ya que el amaranto posee pigmentos naturales como carotenoides y flavonoides que contribuyen al color amarillo-café en las pastas.

Respecto a la evaluación de cocción, en el parámetro tiempo de cocción se pudo observar que hubo una disminución de tiempo en los tratamientos que fueron sustituidos con harina de amaranto en comparación con el tratamiento control especialmente en el tratamiento SA debido a un menor contenido de gluten, en los tratamientos SAC Y SACM hubo un ligero aumento de tiempo gracias a la adición de CMC y melatonina debido a que compensa en tiempo de cocción, la disminución del gluten derivada de la sustitución de semolina. En cuanto a las pérdidas por cocción y sólidos solubles totales, los tratamientos que presentaron menores pérdidas por cocción fue el SA y SAC mientras que el tratamiento control y el tratamiento SACM obtuvieron mayor porcentaje, lo cual afecta su calidad dado que las pastas con altas pérdidas por cocción pierden su forma si se dejan más tiempo sumergidas en agua caliente, así mismo el tratamiento SA presento menor porcentaje de solubilidad en agua a casusa de la sustitución de semolina con amaranto puesto que incrementó la proporción y exposición de proteínas hidrofóbicas, por el contrario no sucedió con el tratamiento SAC ya que fue posible la detección de micropartículas solubles. Acerca de la capacidad de absorción de agua, porcentaje de hinchamiento y incremento de

volumen, los tratamientos con amaranto presentaron un porcentaje, sin embargo, el tratamiento SAC mostro un incremento de % de hinchamiento, además del tratamiento control, esto se puede atribuir a una disrupción física de la matriz de gluten por la CMC, que aumenta las interacciones hidrofílicas con el agua de cocción mejorando la penetración de agua al centro de la pasta.

En el análisis de textura en pasta seca, se evaluaron 3 atributos (rompimiento, fracturabilidad y dureza), obteniendo el tratamiento control menor resistencia al rompimiento y fracturabilidad debido a un mejor desarrollo de gluten, formando una estructura más compacta y firme, al contrario del tratamiento SA el cual obtuvo mayores valores para las tres variables de estudio en rompimiento, fracturabilidad y dureza debido a que tiene mayor porcentaje de humedad en comparación con los otros tratamientos lo que hace que su textura sea de menor calidad, no obstante la incorporación de CMC en el tratamiento SAC así como también la adición de melatonina en el tratamiento SACM reducen la dureza de la pasta obteniendo valores cercanos al tratamiento control.

Por último, en la evaluación de textura en pasta cocida, se evaluaron dos parámetros firmeza y trabajo de corte, el tratamiento SA obtuvo fideos con mayor firmeza y trabajo de corte, más sin embargo la adición de CMC y su combinación con melatonina redujeron el efecto de la sustitución, produciendo fideos más suaves, si bien cuando cuando la pasta es cocida la proteína absorbe agua y se hincha más rápido que el almidón por lo que causa una hidratación de fracción proteica antes de la gelatinización del almidón haciendo una pasta más firme y de buena calidad (Dexter, 2004), esto se debe al desarrollo que ejerce el gluten durante la cocción.

VIII. REFERENCIAS

- A.A.C.C. (2000a). *Approved Methods of Analysis, Method Methods Number; 66-50*. 16–18.
- A.A.C.C. (2000b). *AACC international approved methods of analysis* (10th ed.).
- Ada, P. (2016). *Propiedades tecnológicas de la harina de trigo sarraceno en función de su tamaño de partícula. Aplicación en panificación sin gluten*. Universidad de Valladolid.
- Ainsa, A., Roldan, S., Marquina, P. L., Roncalés, P., Beltrán, J. A., & Calanche Morales, J. B. (2022). Quality parameters and technological properties of pasta enriched with a fish by-product: A healthy novel food. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16261>
- Alamprese, C. (2017). The Use of Egg and Egg Products in Pasta Production. In *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp. 251–259). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00024-X>
- Alamprese, C., Casiraghi, E., & Pagani, M. A. (2007). Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. *Eur. Food Res. Technol*, 25, 205–213.
- Alamprese, C., Casiraghi, E., Primavesi, L., Rossi, M., & Hidalgo, A. (2005). Functional and rheological characteristics of fresh egg pasta. *ItalJ. Food Sci*, 17, 3–15.
- Alizadeh, S., Ahmadi-Dastgerdi, A., Reisi, S., Ebrahimi Tirtashi, F., Zokaei, M., & Tahri, S. (2024). Effect of Semolina Replacement with Amaranth Flour on Quality Characteristics of Functional Pasta. *Journal of Food Quality*, 2024, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2024/3091944>
- Andersen, L. P. H., Gögenur, I., Rosenberg, J., & Reiter, R. J. (2016). The Safety of Melatonin in Humans. *Clinical Drug Investigation*, 36(3), 169–175. <https://doi.org/10.1007/s40261-015-0368-5>
- Angelino, D., Martina, A., Rosi, A., Veronesi, L., Antonini, M., Mennella, I., Vitaglione, P., Grioni, S., Brighenti, F., Zavaroni, I., Fares, C., Torriani, S., & Pellegrini, N. (2019). Glucose- and Lipid-Related Biomarkers Are Affected in Healthy Obese or Hyperglycemic Adults Consuming a Whole-Grain Pasta Enriched in Prebiotics

- and Probiotics: A 12-Week Randomized Controlled Trial. *The Journal of Nutrition*, 149(10), 1714–1723. <https://doi.org/10.1093/jn/nxz071>
- A.O.A.C. (2003). *Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists* (15 th).
- Aravind, N., Sissons, M., Egan, N., & Fellows, C. (2012). Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 130, 299–309.
- Arnao, M., & Hernández, J. (2019). Melatonin as a Chemical Substance or as Phytomelatonin Rich-Extracts for Use as Plant Protector and/or Biostimulant in Accordance with EC Legislation. *Agronomy*, 9(10), 570. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100570>
- Arreola, J. D. A. (2012). Gel de Carboximetil Celusa a partir del bagazo de piña. *División de Estudios de Posgrado e Investigación*, 1–24.
- Back, K., Tan, D., & Reiter, R. J. (2016). Melatonin biosynthesis in plants: multiple pathways catalyze tryptophan to melatonin in the cytoplasm or chloroplasts. *Journal of Pineal Research*, 61(4), 426–437. <https://doi.org/10.1111/jpi.12364>
- Bautista Cornejo, M. J., & Pico Aguirre, L. M. (2009). Determinar la factibilidad de producir y comercializar una bebida de amaranto con sabor a chocolate en bucaramanga y su área metropolitana. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 24–25.
- Bianchi, F., Tolve, R., Rainero, G., Bordiga, M., & Brennan, C. (2021). Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4356–4366.
- Bresciani, A., Pagani, M. A., & Marti, A. (2022). Pasta-Making Process: A Narrative Review on the Relation between Process Variables and Pasta Quality. *Foods*, 11(3), 256. <https://doi.org/10.3390/foods11030256>
- Bustos, M. C., Perez, G. T., & Leon, A. E. (2015). Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *RSC Advances*, 5(39), 30780–30792. <https://doi.org/10.1039/C4RA11857J>

- Cárdenas, A., Beta, T., Loarca, G., Castaño, E., Nieto, J. O., & Mendoza, S. (2016). Improved functional properties of pasta: Enrichment with amaranth seed flour and dried amaranth leaves. *Journal of Cereal Science*, 72, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.014>
- Codex, A. (2023). *Comisión del Codex Alimentarius Manual de Procedimiento*. FAO; WHO; <https://doi.org/10.4060/cc5042es>
- CORO, F. P. G. (2015). Evaluación del comportamiento del almidón. *Universidad Nacional De Cordoba, Facultad De Ciencias Agropecuarias*, 109.
- Cruz, M. (2019). 99 % de los hogares mexicanos compra pasta. *Kantar*, 1.
- Cruz, M. (2021). Consumo de pasta en México. *Out Of Home & Usage Food Manager de Kantar*, 2.
- De la Peña, E., Manthey, F. A., Patel, B. K., & Campanella, O. H. (2014a). Rheological properties of pasta dough during pasta extrusion: Effect of moisture and dough formulation. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 346–351. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.05.013>
- De Noni, I., & Pagani, M. (2010). Cooking Properties and Heat Damage of Dried Pasta as Influenced by Raw Material Characteristics and Processing Conditions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 465–472. <https://doi.org/10.1080/10408390802437154>
- De Penna, E. W., Serrano, L., Bungler, A., Soto, D., Luis López, L., Hernández, N., & Ruales, J. (2002). Optimización de una formulacion de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el adulto mayor. *SciELO*.
- Deng, L., & Manthey, F. A. (2017). Effect of Single-Pass and Multipass Milling Systems on Whole Wheat Durum Flour and Whole Wheat Pasta Quality. *Cereal Chemistry*, 94(6), 963–969. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-17-0087-R>
- Dexter, J. E. (2004). Grain, Paste Products: Pasta and Asian Noodles. In *Food Processing* (pp. 249–271). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470290118.ch13>
- Escalante. (2019). Pasta: propiedades, beneficios y valor nutricional. *La Vanguardia*, 1.

- Faheid, S. M. M., Rizk, I. R. S., Kishk, Y. F. M., Ragab, G. H., & Mostafa, S. (2022). Carboxymethyl cellulose and psyllium husk in gluten-free pasta. *Foods and Raw Materials*, 329–339. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-540>
- FAO/OMS. (2023). Norma general para los aditivos alimentarios. *CODEX STAN 192-1995*, 4.
- Ficco, D. B. M., De Simone, V., De Leonardis, A. M., Giovanniello, V., Del Nobile, M. A., Padalino, L., Lecce, L., Borrelli, G. M., & De Vita, P. (2016). Use of purple durum wheat to produce naturally functional fresh and dry pasta. *Food Chemistry*, 205, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.014>
- Galović, O., Margeta, P., Hanžek, D., Grčević, M., Kralik, Z., & Kralik, G. (2020). Enrichment of table eggs with lutein. *Poljoprivreda*, 26(1), 56–63. <https://doi.org/10.18047/poljo.26.1.8>
- Gimeno, E., Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2004). Effect of Xanthan Gum and CMC on the Structure and Texture of Corn Flour Pellets Expanded by Microwave Heating. *Cereal Chemistry*, 81(1), 100–107. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.1.100>
- González, A. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata {Ipomoea Batatas Lam) Fritos por Inmersión. Parte 1: Textura. *Scielo*.
- Granito, M., Pérez, S., & Valero, Y. (2014). Calidad de cocción, aceptabilidad e índice glicémico de pasta larga enriquecida con leguminosas. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(4), 425–432. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000400012>
- Granito, M., Torres, A., & Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28(7), 372–379.
- Gutiérrez, B. G., Andrade, M. G., Canett, R., Sánchez, R. I., Canizales, D. F., & Otero, C. B. (2016). PASTA TIPO TALLARÍN A BASE DE HARINA DE AMARANTO (*Amaranthus tricolor*), SÉMOLA Y SALVADO DE TRIGO (*Triticum aestivum*). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 717–720.

- Hernández, A. del S. C. (2012). Composición Química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada. *Universidad Autónoma de Querétaro*, 43–45.
- Hong, E., Lee, S. Y., Jeong, J. Y., Park, J. M., Kim, B. H., Kwon, K., & Chun, H. S. (2017). Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3877–3896. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8364>
- Hsu, R. J.-C., Lu, S., Chang, Y., & Chiang, W. (2015). Effects of added water and retrogradation on starch digestibility of cooked rice flours with different amylose content. *Journal of Cereal Science*, 61, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.03.002>
- Jatav, K. A., Bhatt, D., & Kiledar, S. (2016). Development and quality evaluation of amaranth flour pasta. *Asian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 5(2), 1–11.
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J., & Lewu, F. B. (2018). Suitability of Amaranthus species for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*, 115, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.004>
- Jurado, J. A., Flores, M. A., Juárez, J., Lechuga, R., Rentería, A. L., Sánchez, R., Tirado, J.-M., & Chávez, A. (2023). Physicochemical and Rheological Characteristics of Stirred Yogurt Fortified with Vitamin B12 and Melatonin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2023/9232447>
- kamble. (2022). *Grado de hinchamiento methods*. 66(50), 16–18.
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S., & Ranote, P. S. (2013). Enrichment of pasta with different plant proteins. *Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>
- Konica. (2024). *Identificando Diferencias de Colores usando coordenadas L*a*b* o L*C*H**.

- La Gatta, B., Rutigliano, M., Padalino, L., Conte, A., Del Nobile, M. A., & Di Luccia, A. (2017). The role of hydration on the cooking quality of bran-enriched pasta. *LWT*, *84*, 489–496. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.013>
- Larrosa, V. J., Lorenzo, G., & Zaritzky, N. E. (2013). Cambios en las características estructurales y reológicas de pastas libres de gluten durante el proceso de cocción. *Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia*, *6*.
- Liu, S., Liu, Q., Li, X., Obadi, M., Jiang, S., Li, S., & Xu, B. (2021). Effects of dough resting time on the development of gluten network in different sheeting directions and the textural properties of noodle dough. *LWT*, *141*, 110920. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110920>
- Lončarić, A., Indira Kosović, M., Jukić, Ž. U., & Vlasta Piližota. (2014). Effect of apple by-product as a supplement on antioxidant activity and quality parameters of pasta. *Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Food Technology Osijek*, *6(2)*, 97–103.
- Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Mason, S., & Brennan, C. S. (2016). How the inclusion of mushroom powder can affect the physicochemical characteristics of pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, *51(11)*, 2433–2439. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13246>
- Luo, L., Guo, X., & Zhu, K. (2015). Effect of steaming on the quality characteristics of frozen cooked noodles. *LWT - Food Science and Technology*, *62(2)*, 1134–1140. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.02.008>
- Luo, L. J., Guo, X. N., & Zhu, K. X. (2015). Effect of steaming on the quality characteristics of frozen cooked noodle. *LWT-Food Science and Technology*, *62(2)*, 1134–1140.
- Manchester, L. C., Coto-Montes, A., Boga, J. A., Andersen, L. P. H., Zhou, Z., Galano, A., Vriend, J., Tan, D., & Reiter, R. J. (2015). Melatonin: an ancient molecule that makes oxygen metabolically tolerable. *Journal of Pineal Research*, *59(4)*, 403–419. <https://doi.org/10.1111/jpi.12267>
- Mannino, G., Pernici, C., Serio, G., Gentile, C., & Berteà, C. M. (2021). Melatonin and Phytomelatonin: Chemistry, Biosynthesis, Metabolism, Distribution and

- Bioactivity in Plants and Animals—An Overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 9996. <https://doi.org/10.3390/ijms22189996>
- Manthey, F. A., & Schorno, A. L. (2002). Physical and Cooking Quality of Spaghetti Made from Whole Wheat Durum. *Cereal Chemistry*, 79(4), 504–510. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.4.504>
- Marti, A., Fongaro, L., Rossi, M., Lucisano, M., & Ambrogina Pagani, M. (2011). Quality characteristics of dried pasta enriched with buckwheat flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(11), 2393–2400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02762.x>
- Martinez, C. S., Ribotta, P. D., & León, A. E. (2016a). Influence of the addition of *Amaranthus mantegazzianus* flour on the nutritional and health properties of pasta. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1136097>
- Melis, S., & Delcour, J. A. (2020a). Impact of wheat endogenous lipids on the quality of fresh bread: Key terms, concepts, and underlying mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3715–3754. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12616>
- Mimenza, O. (2016). Melatonina: la hormona que controla el sueño y los ritmos estacionales. *Psicología y Mente*, 1.
- Moposita, D., Mejia, B., Dávalos, G., & Godoy, M. (2023). Pastas alimenticias enriquecidas con harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus*). *Polo Del Conocimiento*, 82(8), 1404-1417.
- Murch, S. J., & Erland, L. A. E. (2021). A Systematic Review of Melatonin in Plants: An Example of Evolution of Literature. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.683047>
- Obadi, M., Zhang, J., & Xu, B. (2022). The role of inorganic salts in dough properties and noodle quality—a review. *Food Research International*, 152(111278).
- Ogawa, T., Chuma, A., Aimoto, U., & Adachi, S. (2017). Effects of drying temperature and relative humidity on spaghetti characteristics. *Drying Technology*, 35(10), 1214–1224. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1236812>

- Ohmura, M., Matsumiya, K., Maeda, T., Fujita, A., Hayashi, Y., & Matsumura, Y. (2023). Effect of drying profiles on surface structure changes of durum wheat pasta during the boiling process. *LWT*, 173, 114175. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114175>
- Omer, R. A. , , Koparir, P. , Ahmed, L., & Koparir, M. (2021). Estudio computacional y espectroscópico de la melatonina. *Indian J. Chem , B* 60, 732–741.
- Ortiz, S. C. (2017). Desarrollo y evaluación de pastas alimenticias a base harina de arroz, quinoa y chíá destinadas a regímenes alimenticios sin gluten. *Universidad Central de Venezuela*, 250–260.
- P. Kubatka, B. Bojková, KM. ciková-Kalická, M. Mníchová-Chamilová, Y. Adameková, Yo. Ahlers, E. Ahlersová, & M. Cermáková. (2001). *Efectos del tamoxifeno y la melatonina sobre el cáncer de glándula mamaria inducido por N-metil-N-nitrosourea y por 7,12-dimetilbenz(a)antraceno, respectivamente, en ratas Sprague-Dawley hembras.*
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., & Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.020>
- Poncela, A. L. (2014). La melatonina más allá del ritmo circadiano. *Univerddidad De Valladolid*, 1, 5–10.
- Poza, J. J., Pujol, M., Ortega-Albás, J. J., & Romero, O. (2022). Melatonina en los trastornos de sueño. *Neurología*, 37(7), 575–585. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2018.08.002>
- Qi, Z.-Y., Wang, K.-X., Yan, M.-Y., Kanwar, M. K., Li, D.-Y., Wijaya, L., Alyemeni, M. N., Ahmad, P., & Zhou, J. (2024). Correction: Qi et al. Melatonin Alleviates High Temperature-Induced Pollen Abortion in *Solanum lycopersicum*. *Molecules* 2018, 23, 386. *Molecules*, 29(15), 3641. <https://doi.org/10.3390/molecules29153641>
- Reiter, R. J., Tan, D., Sainz, R. M., Mayo, J. C., & Lopez-Burillo, S. (2010). Melatonin: reducing the toxicity and increasing the efficacy of drugs. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 54(10), 1299–1321. <https://doi.org/10.1211/002235702760345374>

- Reportlinker. (2024). *Global pasta market overview 2024-2028*. 1.
- Ritwiset, A., Khajonrit, J., Krongsuk, S., & Maensiri, S. (2021). Molecular insight on the formation structure and dynamics of melatonin in an aqueous solution and at the Water–Air interface: A molecular dynamics study. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 108, 107983. <https://doi.org/10.1016/j.jmglm.2021.107983>
- Robledo, K. T. (2014). Desarrollo de una formulación de pasta para lasaña a base de harina de amaranto para mejorar su calidad nutricional. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 17–80.
- Rodríguez, A., Juárez, M., Feregrino, A. A., Leyva, A., Mancillas, J., Ramírez, F., & Ávila, O. (2022). Elaboración de una pasta tipo spaghetti a partir de orujo de uva alta en polifenoles. *Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Norte*, 1.
- Rodríguez-Zúñiga, A., Feregrino-Pérez, A. A., Juárez-García, M., García-Trejo, J. F., Mancillas-Medina, J., Ávila-Ontiveros, M., Leyva-Maldonado, A., & Ramírez-García, J. F. (2021). Evaluación proximal y contenido de antioxidantes de una pasta tipo espagueti a partir de orujo de uva y amaranto. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 82, 15–23. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021823538>
- Rueda, K. D. L. Á. A. (2007). Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada. *Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo*, 3–11.
- Saltos, Lady. (2011). *Comportamiento reológico de pastas con sémola y pastas con harina de trigo utilizando lipasa como mejorador enzimático*. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- Sarghini, F., Cavella, S., Torrieri, E., & Masi, P. (2005). Experimental analysis of mass transport and mixing in a single screw extruder for semolina dough. *J. Food Eng*, 68, 497–503.
- SEGOB. (1980). Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980, Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades. *Diario Oficial de La Federación*.
- SEGOB. (2002). Norma Mexicana NMX-F-023-NORMEX-2002. *Diario Oficial de La Federación*.

- Shao, L.-F., Guo, X.-N., Li, M., & Zhu, K.-X. (2019). Effect of different mixing and kneading process on the quality characteristics of frozen cooked noodle. *LWT*, *101*, 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.078>
- Sissons M. (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*, *1*, 72–90.
- Sissons, M., Cutillo, S., Egan, N., Farahnaky, A., & Gadaleta, A. (2022). Influence of Some Spaghetti Processing Variables on Technological Attributes and the In Vitro Digestion of Starch. *Foods*, *11*(22), 3650. <https://doi.org/10.3390/foods11223650>
- Sissons, M., Zou, W., Warren, F. J., Gidley, M. J., & Gilbert, R. G. (2016). Compact structure and proteins of pasta retard in vitro digestive evolution of branched starch molecular structure. *Carbohydrate Polymers*, *152*, 441–449. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.016>
- Sozer, N., & Kaya, A. (2008). The Effect of Cooking Water Composition on Textural and Cooking Properties of Spaghetti. *International Journal of Food Properties*, *11*(2), 351–362. <https://doi.org/10.1080/10942910701409260>
- Sui, Z., Lucas, P. W., & Corke, H. (2006). Optimal cooking time of noodles related to their notch sensitivity. *Journal of Texture Studies*, *37*(4), 428–441.
- Tan, X., Fan, Z., Zeng, Z., Shan, W., Kuang, J., Lu, W., Su, X., Tao, N., Lakshmanan, P., Chen, J., & Zhao, Y. (2021). Exogenous melatonin maintains leaf quality of postharvest Chinese flowering cabbage by modulating respiratory metabolism and energy status. *Postharvest Biology and Technology*, *177*, 111524. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111524>
- Tang, Y., Yang, Y., Wang, Q., Tang, Y., Li, F., Zhao, J., Zhang, Y., & Ming, J. (2019). Combined effect of carboxymethylcellulose and salt on structural properties of wheat gluten proteins. *Food Hydrocolloids*, *97*, 105189. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105189>
- Torres, A., Rodríguez, M., Guerra, M., & Granito, M. (2009). Factibilidad tecnológica de incorporar germen desgrasado de maíz en la elaboración de pasta corta. *An Venez Nutr*, *22*(1).

- Varsha, K., & Mohan, S. (2016). Índices de evaluación de la calidad de productos extruidos: una revisión. *Revista Internacional de Ciencias Agrícolas*, 8(54), 975–3710.
- Vedia, V., Gurak, P., Espinoza, S., & Ruano, J. (2016). Calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial de tallarines producidos con sustitución parcial de sémola de trigo por harina de amaranto. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(3), 190–197. <https://doi.org/10.14306/renhyd.20.3.215>
- Wang, L., Zhang, Y., Xu, F., & Chen, J. (2022). Effects of ultrasound-assisted resting on the tensile properties and gluten network formation of wheat noodle dough. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 4273–4283. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01517-9>
- Wang, W., Zhou, X., Li, W., Liang, J., Huang, X., Li, Z., Zhang, X., Zou, X., Xu, B., & Shi, J. (2024). Real-Time Monitoring of Dough Quality in a Dough Mixer Based on Current Change. *Foods*, 13(3), 504. <https://doi.org/10.3390/foods13030504>
- Wang, X., Ma, Z., Li, X., Liu, L., Yin, X., Zhang, K., Liu, Y., & Hu, X. (2018). Food additives and technologies used in Chinese traditional staple foods. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0113-9>
- Wang, X., McClements, D. J., Xu, Z., Meng, M., Qiu, C., Long, J., Jin, Z., & Chen, L. (2023). Recent advances in the optimization of the sensory attributes of fried foods: Appearance, flavor, and texture. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.012>
- Wu, J., Beta, T., & Corke, H. (2006). Effects of Salt and Alkaline Reagents on Dynamic Rheological Properties of Raw Oriental Wheat Noodles. *Cereal Chemistry*, 83(2), 211–217. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0211>
- Xing, J., Qiao, J., Yang, Z., Guo, X., & Zhu, K. (2021). Effects of ultrasound-assisted resting on the qualities of whole wheat dough sheets and noodles. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(11), 5609–5618. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15078>

- Zhang, B., Huang, Q., Luo, F.-X., & Fu, X. (2012). Structural characterization and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 174–181.
- Zhang, H., Liu, X., Chen, T., Ji, Y., Shi, K., Wang, L., Zheng, X., & Kong, J. (2018). Melatonin in Apples and Juice: Inhibition of Browning and Microorganism Growth in Apple Juice. *Molecules*, 23(3), 521. <https://doi.org/10.3390/molecules23030521>
- Zhou, X. (2024). Monitoreo en tiempo real de la calidad de la masa en una amasadora en función del cambio actual. *Foods*.

IX. ANEXOS

CMII-FMI
2024

UNIVERSIDAD DE
GUANAJUATO



A través del Campus de Celaya Salvatierra, de la División de Ciencias de la Salud e Ingenierías y del Departamento de Ingeniería Agroindustrial

Otorgan la presente

CONSTANCIA

a

María Fernanda Ríos Ríos, Thania Alejandra Urrutia Hernández, Aurora Quintero Lira, César Uriel López Palestina, Javier Piloni Martini y Beatriz del Carmen Coutiño

Laguna

por haber presentado el trabajo en modalidad oral

La melatonina como agente de textura en pastas de harina de amaranto

en el marco del


1er. FORO MULTIDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN

"DESARROLLO E INNOVACIÓN"

y **CONGRESO MULTIDISCIPLINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS 2024**, realizado en el Campus Celaya-Salvatierra en la Ciudad de Celaya, Guanajuato del 14 al 18 de octubre. Esta constancia avala 25 horas crédito.

"La Verdad Os Hará Libres"

Celaya, Guanajuato 14 de octubre del 2024


Dr. José Marcelino Gutiérrez Villalobos
Director de Departamento de
Ingeniería Agroindustrial



CONGRESO DE ALIMENTOS 2024

XXV CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS

X CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INNOVACIÓN Y
TENDENCIAS EN PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

La Universidad de Guanajuato (División de Ciencias de la Vida) y La Universidad Autónoma de Nuevo León (Facultad de Ciencias Biológicas) otorgan la presente

CONSTANCIA

a

M. F. Ríos-Ríos, T. A. Urrutia-Hernández, A. de J. Cenobio-Galindo, A. Quintero-Lira, C. U. López-Palestina y J. Piloni-Martini.

Constancia No. CA2024CTL048

Por su participación como ponente del trabajo “**CLO043-Evaluación de la calidad fisicoquímica y de cocción de una pasta tipo fideo adicionada con melatonina**” presentado en la modalidad **Cartel** en el XXV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos y el X Congreso Internacional Sobre Innovación y Tendencias en Procesamiento de Alimentos, evento llevado a cabo los días 15, 16 y 17 de mayo en el Auditorio General del Edificio Central de la Universidad de Guanajuato.

Guanajuato, Gto., México a 17 de mayo del 2024

Dr. César Ozuna López

Director del Departamento de Alimentos
División de Ciencias de la Vida – CIS
Universidad de Guanajuato

Dr. Juan Gabriel Báez González
Jefe del Departamento de Alimentos
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Nuevo León



La melatonina como agente de textura en pastas de harina de amaranto

Melatonin as texture agent in amaranth flour pasta

María Fernanda Ríos Ríos¹, Thania Alejandra Urrutia Hernández^{1*}, Aurora Quintero Lira¹, César Uriel López Palestina¹, Javier Piloni Martini² y Beatriz del Carmen Coutiño Laguna¹.

¹Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos. Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

thania_urrutia9356@uaeh.edu.mx¹

Resumen

La pasta es un alimento de amplio consumo alrededor del mundo. Nutricionalmente, posee un alto contenido de carbohidratos complejos, bajos niveles de grasa y proteínas. Con el propósito de incrementar su valor nutricional y ofrecer alternativas sensoriales o bajas en gluten, diferentes investigadores han formulado pastas a partir de harinas de cereales y leguminosas. Sin embargo, las formulaciones novedosas con ingredientes no convencionales que preserven las propiedades de cocción en la pasta son un reto debido a una menor participación del gluten, que, junto con el almidón, son los responsables de la textura de la pasta. En el presente trabajo una pasta elaborada con semolina y harina de amaranto fue adicionada con melatonina como agente tecnológico de textura. Los parámetros de rompimiento, fracturabilidad y dureza fueron medidos en pasta seca, mientras que la firmeza y el trabajo de corte se evaluaron en pasta cocida. La sustitución de semolina por harina de amaranto aumentó en las pastas su resistencia al rompimiento y la fracturabilidad en comparación a la pasta 100% semolina, mientras que la melatonina incrementó la firmeza y el trabajo de corte en pastas cocidas, atributos deseables para el consumidor que busca pastas suaves y estables a la cocción.

Palabras clave: amaranto, melatonina, pasta, textura.

Abstract

Pasta is a widely consumed food around the world. Nutritionally, it has a high content of carbohydrates, low levels of fat and protein. In order to increase its nutritional value and offer sensorial or low-gluten alternatives, researchers have formulated pastas from cereal and legume flours. However, novel formulations with non-conventional ingredients preserving cooking quality of the pasta is a challenge, due to a lower participation of gluten, which together starch, are responsible of texture of pasta. In this work, a pasta made with semolina and amaranth flour was added with melatonin as a technological texture agent. The amaranth flour increased the gelling properties of gluten. The parameters of breaking stress, fracturability and stiffness were measured in dry pasta, while firmness and cutting work were evaluated in cooked pasta. Substitution of semolina with amaranth flour increased the breaking stress and fracturability of amaranth pasta compared to 100% semolina pasta, while melatonin increased firmness and work of shear in cooked pasta, desirable attributes for consumers seeking soft and stable pastas during cooking.

Introducción

La pasta es un alimento de amplio consumo en el mundo gracias a su valor nutricional, sensorial, y conveniencia (IPO, 2021). De manera tradicional, este alimento se elabora principalmente con sémola, agua y otros ingredientes (Rueda, 2007). La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) consideran que la pasta es un alimento apropiado para transportar ingredientes con alto valor nutricional. Debido a la creciente popularidad y la demanda de consumidores con estilos de vida más saludables, los investigadores y la industria se han esforzado para rebasar los límites de la pasta tradicional con la elaboración de productos con nuevos ingredientes (Bianchi, et al., 2021), que además de nutritivos, mejoren las propiedades tecnológicas del alimento.

El amaranto es un pseudocereal con niveles significativos de fibra dietética (19.5-49.3%), de proteína (12-19%) rica en metionina y lisina, así como de vitaminas y minerales (Jatav et al., 2016). Gracias a estas propiedades, el amaranto ha sido incorporado en alimentos como el pan, el pastel y la pasta. Su adición a las pastas aumenta su valor nutricional principalmente en proteína, fibra y en menor grado minerales, lo cual es ideal para una dieta saludable (Alizadeh et al., 2024). Además, a nivel tecnológico, las pastas que incluyen amaranto en su formulación suelen ser más estables que aquellas formuladas con cereales y legumbres debido a su bajo contenido de amilosa.

Un producto de reciente uso en los alimentos es la melatonina. Se trata de una hormona secretada por la glándula pineal que participa en la regulación del ciclo circadiano (Salehi et al., 2019). En la naturaleza, la melatonina es conocida como fitomelatonina, y se encuentra en diversos alimentos como cereales, frutas y hortalizas, aunque su proporción está en el rango de micro a nanogramos por gramo de producto (Poncela, 2014). La presencia de melatonina en los productos vegetales es materia de creciente interés debido a sus propiedades antioxidantes y posibles beneficios a la salud de los consumidores. Aunque la melatonina se encuentra en diferentes productos, sus concentraciones son relativamente bajas. Debido a que la melatonina es muy difícil de extraer, son pocos los estudios donde sea añadida con fines nutricionales o tecnológicos. Pocos estudios describen la adición de melatonina como ingrediente tecnológico en alimentos, debido a que su uso es principalmente de tipo terapéutico. En jugos pasteurizados de manzana, la adición de melatonina inhibe la conversión de compuestos o-difenólicos responsables de su oscurecimiento; además de que favorece la estabilidad del alimento por inhibición de la formación de hongos, levaduras y bacterias en jugo sin pasteurizar (Zhang et al., 2018). En el yogur fortificado con melatonina (3 mg/L) y vitamina B12 ($\mu\text{g/L}$), la incorporación de este compuesto conllevó a un producto con menor contenido de grasa y mayor porcentaje de humedad, que sugieren que la melatonina podría establecer enlaces con el gel de proteínas dando a lugar a una estructura más compacta y firme (Jurado-Guerra et al., 2023). El propósito de este trabajo fue investigar el efecto de la incorporación de melatonina como ingrediente tecnológico sobre las propiedades de textura de una pasta tipo fideo sustituida con harina de amaranto.

Metodología

En este trabajo se formularon 4 pastas distintas (Tabla 1).

Las pastas fueron elaboradas siguiendo el método tradicional. Para ello, se mezclaron las harinas con el resto de los ingredientes secos. A cada mezcla se incorporó 5% de aceite vegetal extra virgen y 1% de sal de mesa, finalmente poco a poco el agua hasta ajustar las masas a 32% de humedad. Se añadieron 2% de carboximetilcelulosa y 3 mg de melatonina en función al peso de la masa. Por separado, cada masa fue amasada manualmente por 20 minutos, seguido de un reposo de 20 minutos. Posteriormente, con ayuda de una máquina manual se laminó la masa para obtener hojas de 0.5 mm de grosor. Seguido se moldeó para obtener fideos largos que fueron cortados a 3 cm de longitud. Los fideos se secaron en un hornodeshidratador a 95 °C durante 20 minutos. La pasta fue enfriada antes de almacenarse en bolsas de polipropileno completamente selladas.

Tabla 1. Formulaciones de trabajo

Tratamiento	Semolina %	Harina de amaranto %	Carboximetilcelulosa (g/ 100 g harinas)	Melatonina (mg/ 100 g masa)
Control	100	0	0	0
SA	80	20	0	0
SAC	80	20	2	0
SACM	80	20	2	3

SA: 100% semolina, SA: 80% semolina y 20% de amaranto, SAC: 80% semolina, 20% de amaranto y carboximetilcelulosa, SACM 80% semolina, 20% amaranto, carboximetilcelulosa y melatonina.

Para la evaluación de textura, las pastas fueron cocidas en agua hirviendo hasta la desaparición del centro blanco. El análisis de textura de las pastas secas y cocidas se llevaron a cabo usando un texturómetro (marca Stable MicroSystems, modelo TA-X-T PLUS), acoplado a una PC con adquisición de datos y software. Las pruebas de textura se efectuaron en 15 repeticiones cada tratamiento, según el método AACCC 16-50 (AACCC, 2000). Los análisis de pasta seca y cocida consistieron en el corte simultáneo de 5 fideos de 3 centímetros de longitud, considerando para pasta seca los parámetros de rompimiento, fracturabilidad y dureza; mientras que para la pasta cocida los parámetros de trabajo de corte y firmeza.

Para una mayor precisión, los experimentos del presente trabajo fueron desarrollados por triplicado, a excepción del estudio de textura que se hicieron 15 repeticiones para cada prueba. Los resultados obtenidos fueron analizados con el programa SPSS versión 29, con un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias Tukey con una confiabilidad del 95%.

Resultados

La textura es un parámetro de calidad en las pastas (Hernández, 2012). Los resultados de la evaluación de los atributos de rompimiento, fracturabilidad y dureza de las pastas secas se muestran en la Tabla 2. El rompimiento se refiere a la fuerza que se aplica hasta que la pasta comienza a romperse, la fracturabilidad es el pico inicial de fuerza manifestado durante la primera compresión que se reconoce porque el alimento se revienta o desmorona, mientras que la dureza se relaciona con la fuerza de la estructura bajo un primer ciclo de compresión, y que es requerida para su deformación (Faheid et al., 2022).

En esta tabla se puede observar que el grupo SA presentó los mayores valores para las tres variables de estudio, en contraste con el grupo control. En la pastas de semolina, el gluten está presente en estructuras con forma de cuña que se localizan entre los gránulos de almidón ovoide, formando una red proteica a través de enlaces cruzados proteína-proteína mismo que se transforma en un material elástico y gomoso consiguiendo la capacidad de crear cadenas y láminas por medio del establecimiento de puentes intramoleculares, lo cual es importante para su desarrollo como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en la pasta manteniendo la forma desde su elaboración hasta la cocción (Robledo, 2014). Estas condiciones favorecen a que la pasta presente una mayor resistencia al rompimiento y fracturabilidad (Sissons et al., 2016), lo que resulta favorable para las operaciones de envasado, almacenamiento y transporte.

Tabla 2. Perfil de textura de las pastas secas.

Tratamiento	Rompimiento (N/mm ²)	Fracturabilidad (mm)	Dureza (N/mm ² /s)
Control	0.0360 ± 0.00828 a	8.3667 ± 0.28552 a	0.0080 ± 0.00632 a
SA	0.2533 ± 0.08595 c	10.1664 ± 0.65724 c	0.1400 ± 0.09832 b
SAC	0.0807 ± 0.02017 b	8.6593 ± 0.44588 ab	0.0170 ± 0.01252 a
SACM	0.0980 ± 0.0264 b	8.9033 ± 0.59291 b	0.0267 ± 0.01557 a

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$).

La presencia de amaranto en SA contribuye a una mayor resistencia frente al rompimiento al tener presencia del amaranto, que es rico en proteína, y mientras mayor sea la participación de estas biomoléculas, más fuerte es la pasta (Coro, 2015), aunque no desarrolle gluten. También se puede ver que la incorporación de la carboximetilcelulosa y la melatonina reducen la dureza de la pasta, pero son superiores a lo observado en la pasta elaborada 100% con semolina. Esto quiere decir que la incorporación de estos ingredientes debilita la red de gluten, haciendo una pasta menos rígida en comparación a SA, pero más estable a las operaciones mecánicas que una pasta 100% semolina. Por otra parte, una red de gluten débil presenta mejores condiciones para su digestión luego de ser consumida cita.

En la pasta cocida, las propiedades de textura son un parámetro importante que determina la aceptación global por los consumidores (Ainsa et al., 2022). En la tabla 3 se observan los resultados de la evaluación de firmeza y trabajo de corte de las pastas de este estudio.

Tabla 3. Perfil de textura de las pastas secas.

Tratamiento	Firmeza (g)	Trabajo de corte (g.cm)
Control	304.71 ± 99.51 a	1243.430 ± 174.90 a
SA	954.30 ± 99.51 c	7183.407 ± 1464.81 b
SAC	281.52 ± 45.27 a	1076.828 ± 507.41 a
SACM	617.24 ± 104.85 b	1491.166 ± 275.75 a

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas (Tukey $p < 0.05$).

Las propiedades de textura de las pastas cocidas corresponden a lo observado en las pastas secas. La sustitución de semolina por amaranto en el tratamiento SA produjo fideos con mayor firmeza y trabajo de corte, por lo que este tipo de formulación resulta idónea para pastas largas, que en su preparación requieren mayores tiempos de cocción y movimientos mecánicos; mientras que la adición de carboximetilcelulosa y su combinación con melatonina produjo fideos más suaves, óptimos para pastas cortas, como el fideo. Estos resultados están relacionados con el desarrollo del gluten y el papel importante que ejerce el agua durante la cocción. Al cocinar la pasta de trigo duro, la gelatinización del almidón y la coagulación de proteínas provocan importantes cambios estructurales y esto impacta en la textura. Cuando la pasta es cocida la proteína absorbe agua y se hincha más rápido que el almidón por lo que causa una hidratación de fracción

proteica antes de la gelatinización del almidón haciendo una pasta más firme y de buena calidad (Dexter, 2004). Además, si la red de gluten no se desarrolla ocasiona a que los gránulos de almidón se hinchen se dispersen durante la cocción causando una estructura más débil y produciendo una pasta con menor cohesividad, de igual manera el gluten puede disminuir la lixiviación del almidón, así como su hinchazón debido a que puede modificar la disponibilidad del agua en el almidón (Sozer et al., 2008). Si bien, la incorporación de carboximetilcelulosa y melatonina redujeron la fuerza y trabajo de corte de pastas elaboradas con harina de amaranto, sus propiedades de firmeza y trabajo de corte son competitivos para una pasta comercial, ya que el consumidor busca una pasta suave a la mordida pero que conserve su integridad física durante la cocción y consumo (Diantom et al., 2019).

Conclusiones

La composición de la pasta y la interacción de gluten y almidón son factores que determinan la calidad de su textura. La sustitución de semolina por ingredientes como la harina de amaranto, la melatonina y la carboximetilcelulosa pueden compensar la disminución de gluten y producir pastas secas más resistentes para el manejo seco y la cocción, como son los fideos largos o cortos. Estudios futuros podrán esclarecer la estabilidad de la melatonina durante la cocción y si como ingrediente individual contribuye a las propiedades de textura de las pastas cocidas, en contraste con paneles sensoriales.

Referencias

- AACC. Method 66-50. (1999). Pasta and Noodle Cooking Quality. <https://img67.chem17.com/1/20170326/636261340426004715119.pdf>.
- Ainsa, A., Roldan, S., Marquina, P.L., Roncalés, P., Beltrán, J. A., Calanche Morales, J. B. (2022). Quality parameters and technological properties of pasta enriched with a fish by-product: A healthy novel food. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46 (2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16261>.
- Alizadeh, S., Admadi-Dastgerdi, A., Reisi, S., Ebrahimi, F., Zokaei, M., Tahriri, S. (2024). Efecto del reemplazo de sémola por harina de amaranto sobre las características de calidad de la pasta funcional. (S. P. Bangar, Ed.) *Journal of food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2024/3091944>.
- Bianchi, F., Tolve, R., Rainero, G., Bordiga, M., & Brennan, C. (2021). Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9): 4356-4366. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15168>.
- Coro, I. F. (2015). Evaluación del comportamiento del almidón. Tesis de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 109.
- Dexter, J. E. (2004). Grain, paste products: Pasta and Asian noodles. In: Scott Smith J., Hui Y.H. (Eds.). Principles and Applications. Blackwell Publishing Ltd. 249–27. <https://doi.org/10.1002/9780470290118ch13>.
- Diantom, A., Curti, E., Carini, E., Boukid, F., Mattarozzi, M., Vodovotz, Y., Careri, M., Vittadini, E. (2019). A multi-scale approach for pasta quality features assessment. *Food Science and Technology*. 101: 285-292. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.004>.
- Faheid, S. M., Rizk, I. R. S., Kishk, Y., Ragab, G., Mostafa, S. (2022). Carboxymethyl cellulose and psyllium husk in gluten-free pasta. *Foods and raw materials*. 10:2: 329-339. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-540>.
- Hernández, I. A. (2012). Composición Química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidratada. Universidad Autónoma de Queretaro, 43-45.
- IPO. (2021). The world pasta industry status report. International Pasta Organization. IPO. Obtenido de <https://internationalpasta.org>.



- Jatav, K.A., Bhatt, D., Kiledar, S. (2016). Development and quality evaluation of amaranth flour pasta. *Asian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 5(2): 1-11. <https://doi.org/10.21275/SR211129160323>.
- Jurado Guerra, J., Flores Mancha, M., Juárez Moya, J., Rentería Monterrubio, A., Sánchez Vega, R., Tirado Gallegos, J., Chávez Martínez, A. (2023). Physicochemical and Rheological Characteristics of Stirred Yogurt Fortified with Vitamin B12 and Melatonin. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1 (9): 42. <https://doi.org/10.1155/2023/9232447>.
- Poncela, A. L. (2014). La melatonina más allá del ritmo circadiano. Universidad De Valladolid, 1, 5-10.
- Robledo, K. T. (2014). Desarrollo de una formulación de pasta para lasaña a base de harina de amaranto para mejorar su calidad nutricional. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. Universidad Nacional Autónoma México.
- Rueda, K. D. (2007). Elaboración de una pasta alimentaria a partir de sémolas de diferentes variedades de cebada. Tesis para obtener el grado de Químico en alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en: Tesisfinalparaimpresion1.doc (uaeh.edu.mx).
- Salehi, B., Sharopov, F., Fokou, P. V.T., Kobylinska, A., Jonge, L., Tadio, K., Sharifi-Rad, J., Posmyk, M. M., Martorell, M., Martins, N., Iriti, M. (2019). Melatonin in Medicinal and Food Plants: Occurrence, Bioavailability, and Health Potential for Humans. *Cells*. 8(7): 681. <https://doi.org/10.3390/cells8070681>.
- Sissons M. (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food. Global Science Book*, 2, 75–90.
- Sozer, N., Kaya, A., Coskun-Dalgic, A. (2008). The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 39 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00126.x>
- Zhang, H., Liu, X., Chen, T., Ji, Y., Shi, K., Wang, L., Zheng, X., Kong, J. (2018). Melatonin in Apples and Juice: Inhibition of Browning and Microorganism Growth in Apple Juice. *Molecules*. 23(3): 521 <https://doi.org/10.3390/molecules23030521>.

