



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS DE GRADO PARA LA CARRERA DE GRADO LICENCIATURA EN
QUÍMICA

**Desarrollo de panificados funcionales a
partir de un subproducto de la industria
hortifrutícola**

Gian Franco Marra- 4.791.348-8

Docentes

Alejandra Medrano

Jessica Baez

25 de noviembre de 2024

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis, acompañándome y apoyándome en cada etapa del proceso.

En primer lugar, agradezco enormemente a mi tutora, la Dra. Ing. Alejandra Medrano, por su paciencia, orientación y constante motivación durante todo el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y guía fueron fundamentales para superar los retos de esta investigación. Asimismo, extiendo mi sincero agradecimiento a mi co-tutora, la Lic. Jessica Báez, por su apoyo incondicional, sus valiosas aportaciones y su disposición para resolver mis dudas en cada paso del camino.

Agradezco también al Área de Química de los Alimentos del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Química, por brindarme el espacio, las herramientas y el apoyo académico necesario para llevar a cabo esta investigación. Asimismo, expreso mi gratitud al Centro de Innovación Panadero del Uruguay (CIPU) por permitirme utilizar sus instalaciones para realizar la elaboración de los panes de cebolla, lo cual fue una parte clave de este proyecto.

A mis profesores y compañeros del Departamento, quienes compartieron su conocimiento y me brindaron su apoyo durante mi formación, les expreso mi gratitud. Su estímulo y disposición para intercambiar ideas enriquecieron este proceso.

A mis padres y a Eugenia, quienes con su amor incondicional y palabras de aliento me enseñaron a no rendirme, a seguir adelante, y a no bajar los brazos incluso en los momentos más difíciles. Su apoyo fue esencial para completar este trabajo, y les dedico con todo mi corazón este logro.

A la memoria de mi prima Viviana, quien fue un claro ejemplo de que con perseverancia y esfuerzo se puede alcanzar cualquier meta. Su determinación y fortaleza siguen siendo una inspiración para mí, y este logro lo dedico también a ella.

A mi familia y amigos, gracias por su amor, paciencia y ánimo constante. Su confianza en mí ha sido mi motor para avanzar y alcanzar mis metas.

Por último, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a este trabajo. Este logro no habría sido posible sin el apoyo de cada uno de ustedes.

Índice

1. Introducción	5
1.1. Productos Panificados	5
1.1.1. El pan	7
1.2. Cebolla	7
1.2.1. Composición de las cebollas	8
1.2.2. Compuestos flavonoides	8
1.2.3. Minerales Ca y Fe	10
1.2.4. Fibras Alimentarias	11
1.2.5. Propiedad Antioxidante	11
1.2.6. Propiedad Antiglicante	12
2. Objetivos	15
2.1. Objetivos específicos	15
3. Materiales y Métodos	15
3.1. Preparación de las muestras de cebolla	15
3.1.1. Estudio de composición proximal de las muestras de cebolla . . .	15
3.1.2. Propiedades Bioactivas	16
3.2. Desarrollo de los panes	19
3.2.1. Composición proximal de los panes	19
3.2.2. Determinación de compuestos volátiles	20
3.2.3. Determinación de propiedades fisicoquímicas	20
3.2.4. Determinación de perfil de textura	21
3.2.5. Propiedades Bioactivas del Producto	21
4. Resultados y discusión	22
4.1. Estudio de la cáscara de cebolla	22
4.1.1. Composición proximal	22
4.1.2. Propiedades bioactivas	23
4.2. Desarrollo de los Panes	27
4.2.1. Composición proximal de los panes	30
4.2.2. Propiedades biactivas de los panes	34
4.2.3. Propiedades fisicoquímicas	37
5. Conclusiones	43
6. Bibliografía	44

Resumen

En esta tesis de grado se investigó el desarrollo de productos panificados funcionales a partir de subproductos de la cebolla, especialmente la cáscara, un residuo de la industria hortifrutícola. Este enfoque responde a las tendencias mundiales planteadas por los Objetivos de Desarrollo Sostenible, contribuyendo a la economía circular al reducir el desperdicio alimentario y optimizar el uso de recursos naturales, generando nuevas oportunidades de mercado y fomentando prácticas agrícolas sostenibles.

El objetivo principal fue evaluar el uso de subproductos de la cebolla como ingrediente funcional para la elaboración de pan, explorando su potencial para mejorar el perfil nutricional de productos panificados y evaluar si presentan potenciales efectos antioxidantes y antiglicantes. A nivel mundial, la cebolla es una de las hortalizas de mayor relevancia, después del tomate, con una producción anual de aproximadamente 85 millones de toneladas. Sin embargo, cerca del 25 % de esta producción se convierte en residuos, siendo la cáscara uno de los componentes principales. Además de su volumen, esta cáscara contiene altos niveles de fibra, minerales, vitaminas y compuestos fenólicos, especialmente flavonoides, que se han relacionado con propiedades bioactivas como antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos. Esto ha llevado a que la utilización de este subproducto en la elaboración de alimentos, como el pan, represente una oportunidad para reducir el desperdicio y añadir valor a la cadena productiva alimentaria, especialmente en el contexto de la demanda actual de productos más sostenibles y enriquecidos.

Para llevar a cabo el estudio, primero se caracterizaron las propiedades bioactivas de la cáscara de cebolla, evaluando su potencial antioxidante y antiglicante, además de su valor nutricional relacionado con el contenido de fibra y minerales. Posteriormente, se desarrollaron diversas formulaciones de pan en las que se sustituyó una parte de la harina de trigo por polvo de cáscara de cebolla en concentraciones de 7 %, 11 % y 15 %, así como una variante que incluía una mezcla de cáscara y pulpa de cebolla en una proporción de 30:70. Estas formulaciones fueron evaluadas por sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y potencial bioactivo para determinar el efecto de la incorporación de la cáscara en el producto final. Los resultados indicaron que la cáscara de cebolla posee un alto contenido de fibra (63.71 %) y una importante cantidad de compuestos fenólicos, principalmente quercetina, que contribuyen a su potencial efecto antioxidante y de inhibición de la formación de compuestos avanzados de glicación (AGEs) encontrado. Los panes enriquecidos con cáscara de cebolla mostraron mejoras en el contenido de fibra, minerales (Ca y Fe) y actividad antioxidante en comparación con el pan control tradicional. Sin embargo, la adición de cáscara afectó las características de textura y color del pan, resultando en un producto con mayor firmeza y una tonalidad más oscura, características típicas de productos enriquecidos con fibra. Además, los análisis de bioactividad indicaron que los panes con mayor contenido de cáscara mantenían una buena actividad antioxidante y antiglicante, lo que demuestra que las propiedades funcionales de la cáscara de cebolla se

preservan tras el procesamiento térmico.

En conclusión, este estudio demuestra que es posible desarrollar productos panificados funcionales a partir de subproductos de la industria hortofrutícola, contribuyendo así a la reducción del desperdicio alimentario y promoviendo una dieta más saludable. La incorporación de cáscara de cebolla en la elaboración de pan no solo mejora su perfil nutricional, sino que también ofrece una solución innovadora y sostenible para el manejo de residuos en la industria alimentaria, alineándose con las demandas de sostenibilidad y salud de los consumidores actuales.

1. Introducción

En los últimos años, ha habido una creciente tendencia hacia el consumo de alimentos funcionales y sostenibles, impulsada por una mayor conciencia sobre la salud y el medio ambiente. Esta tendencia ha llevado a una valorización significativa de los subproductos agrícolas como fuentes de compuestos bioactivos, los cuales pueden ser utilizados para enriquecer alimentos y desarrollar nuevos productos saludables. La cáscara de cebolla, rica en fibras alimentarias, flavonoides y otros nutrientes, se presenta como un subproducto prometedor para su reutilización en la industria alimentaria (Benítez, 2011).

El mercado de los alimentos funcionales ha experimentado un crecimiento considerable debido a la demanda de productos que promuevan la salud y el bienestar. La integración de ingredientes naturales y sostenibles en estos productos ha impulsado su popularidad. Los alimentos funcionales no solo mejoran la salud, sino que también apoyan prácticas agrícolas sostenibles al reutilizar subproductos y reducir el desperdicio (Sibbel, 2007).

El aprovechamiento de la cáscara de cebolla como ingrediente en la elaboración de panificados funcionales se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente con el ODS 12 (ONU, 2015), que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. La reutilización de subproductos como la cáscara de cebolla contribuye a la economía circular, reduciendo el desperdicio alimentario y promoviendo un uso más eficiente de los recursos naturales. Además, este enfoque puede mejorar la rentabilidad de los agricultores y procesadores de alimentos, creando nuevas oportunidades de mercado y fomentando prácticas agrícolas sostenibles (Borrello et al., 2016).

El uso de subproductos agrícolas en la producción de alimentos funcionales no solo apoya la sostenibilidad ambiental, sino que también ofrece beneficios económicos. Al reducir los residuos y valorizar los subproductos, se promueve una cadena de suministro más eficiente y se fomenta la innovación en la industria alimentaria. Esto, a su vez, puede contribuir a la creación de empleos y al fortalecimiento de las economías locales (Mirabella et al., 2014).

1.1. Productos Panificados

La panificación es uno de los procesos de transformación de alimentos más antiguos y esenciales, que ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo. La elaboración de pan se basa en la mezcla de ingredientes básicos como harina, agua, levadura y sal, los cuales son sometidos a un proceso de amasado y fermentación seguido de cocción. Este proceso no solo transforma los ingredientes en un producto comestible y de fácil digestión, sino que también desarrolla características sensoriales apreciadas como la textura, el sabor y el aroma del pan (Fellows, 2009). Según el “Reglamento Bromatológico Nacional (RBN 2012), Decreto No 315/994”, 1994, los productos panificados incluyen principalmente al pan y sus variantes. Este se define como el producto obtenido por la cocción de una masa elaborada mecánicamente con harina de trigo, agua potable, sal o sin sal, con o sin

grasas comestibles, fermentada con masa agria o levaduras, tanto de panificación, como de cerveza o químicas. La harina de trigo es el principal ingrediente en la elaboración de pan debido a la presencia de proteínas como gluteninas y gliadinas que, al mezclarse con agua, forman gluten. El gluten, al combinarse con el almidón, crea estructuras que retienen gases, produciendo un producto elástico y poroso tras la cocción. Las gluteninas, que se encuentran polimerizadas mediante puentes disulfuro, contribuyen a la elasticidad de la masa, mientras que las gliadinas, al hidratarse, proporcionan una viscosidad extensible y cohesiva pero no elástica (Carrillo-Calvo et al., 2020).

El agua es otro ingrediente esencial en la producción de pan. Una adecuada adición de agua es crucial para el desarrollo del gluten, ya que hidrata el almidón y las proteínas de la harina (Matos y Rosell, 2014). La sal fortalece el gluten y aumenta la absorción de agua, aunque un exceso de sal puede frenar la fermentación (McCann y Day, 2013). El azúcar, por su parte, sirve como fuente de fermentación y, junto con el agua, ayuda en la coloración del pan debido a la caramelización (Timmermans et al., 2022). Además, durante la elaboración del pan, se suelen adicionar mejoradores que refuerzan y acondicionan la masa, estimulan la actividad de la levadura y mejoran la retención de gas (Cauvain, 2015).

El proceso de fermentación juega un rol crucial en la elaboración de los panificados. Para la fermentación de la masa se suelen emplear levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*, cuya principal función es la metabolización de los azúcares fermentables en la masa, produciendo CO₂ que le otorga volumen. Estas levaduras también influyen en el color de la corteza del pan y producen compuestos volátiles que generan el olor característico del pan (Arone Palomino, 2015). El proceso de fermentación se puede dividir en tres etapas generales: la primera inicia con el amasado tras la incorporación de la levadura, donde comienza la metabolización de los primeros azúcares libres en la harina; la segunda etapa produce mayormente los productos de la fermentación alcohólica junto con fermentaciones secundarias como la butírica, láctica y acética; y finalmente, al alcanzar temperaturas de 55 °C en el interior de la masa, las levaduras mueren, transformando glucosa en etanol y dióxido de carbono (Arone Palomino, 2015).

El proceso de horneado es fundamental para la formación de la estructura final del pan. Cuando el producto adquiere una temperatura interna de 45-50 °C, la producción de gas se inactiva debido a la muerte de las levaduras, lo que da el volumen final del pan. A temperaturas internas entre 60-70 °C, las proteínas se coagulan y los almidones se gelatinizan, perdiendo su plasticidad y adquiriendo la forma definitiva del pan (Sadeghi et al., 2023).

La tendencia actual hacia una alimentación saludable ha llevado a la incorporación de ingredientes funcionales en productos panificados para mejorar su perfil nutricional y aportar beneficios para la salud. Los ingredientes funcionales son aquellos que, además de su valor nutricional básico, proporcionan efectos positivos adicionales para la salud humana, como la reducción del riesgo de enfermedades crónicas (Martins et al., 2017)

(Rawat y Indrani, 2014).

1.1.1. El pan

El pan es uno de los alimentos más consumidos en el mundo. Se estima que el 68 % de la harina de trigo se destina para la elaboración del pan (Gavilanes Naranjo, 2018). En Europa, el consumo promedio de pan por persona varía entre 50 y 80 kg al año (“European bread market”, s.f.). En América Latina, el consumo de pan también es significativo, con países como Chile liderando con un consumo per cápita de 86 kg al año y en en tercer puesto Uruguay con un consumo per capita de 60 kg al año (Gavilanes Naranjo, 2018) .

En los últimos años, se ha observado un cambio en las preferencias de consumo de pan, con un creciente interés hacia productos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud y la inclusión de ingredientes funcionales. Los consumidores buscan cada vez más panes enriquecidos con ingredientes naturales que aporten beneficios antioxidantes, prebióticos o nutricionales específicos, como los panes integrales o con alto contenido de fibra (Mitelut et al., 2021). Además, los consumidores muestran una preferencia cada vez mayor por productos que incluyan ingredientes naturales como semillas, frutos secos y granos enteros, así como aquellos elaborados con métodos artesanales y de fermentación lenta, que aportan un perfil sensorial mejorado y una mejora de salud como por ejemplo beneficios digestivos adicionales (Neale y Tapsell, 2022) .

Este es un alimento básico ampliamente consumido y de fácil acceso, lo que lo convierte en un vehículo ideal para la incorporación de ingredientes funcionales (Fitzgerald et al., 2014, Wandersleben et al., 2018, Báez et al., 2021). La posibilidad de mejorar el perfil nutricional de un alimento de consumo masivo tiene un impacto significativo en la salud pública, ya que permite que un mayor número de personas se beneficien de los compuestos bioactivos añadidos. Además, el pan es un producto versátil que puede ser adaptado a diversas preferencias culturales y dietéticas, lo que facilita su aceptación en diferentes mercados (Eglite y Kunkulberga, 2017) .

1.2. Cebolla

La cebolla (*Allium cepa* L.) es una verdura ampliamente consumida en todo el mundo, conocida por su bulbo comestible formado por capas gruesas y carnosas que acumulan los nutrientes de la planta, protegidas por membranas finas, secas, delgadas y semitransparentes. Su sabor varía desde picante hasta dulce. Originaria de Asia central, la cebolla es una de las plantas cultivadas más antiguas, con registros de cultivo que datan de hace más de 4000 años (Zhao et al., 2021).

1.2.1. Composición de las cebollas

La composición de la cebolla está dada por muchos factores, como la variedad, las condiciones de cultivo, en que etapa de maduración se recolecta, cómo se almacenan, entre otras; está compuesta por un porcentaje de agua de aproximado 90 %, tiene un alto contenido de azúcares y fibras pero tiene un bajo contenido de lípidos y proteínas siendo los aminoácidos más abundantes los de la la arginina y al ácido glutámico. En cuanto a las cantidades de vitaminas y minerales presente en las cebollas se tiene bajos niveles de sodio y un alto contenido de vitamina B6, ácido fólico, calcio, magnesio, fósforo y potasio (Benítez, 2011).

La cebolla ha sido reconocida a nivel mundial por sus componentes bioactivos como las fibras alimentarias, los fructooligosacáridos, compuestos azufrados, polifenoles principalmente flavonoides, entre otros. Estos compuestos tienen un efecto positivo sobre la salud, y desde el punto de vista tecnológico son de interés debido a sus propiedades antioxidantes, antipardeamiento o modificadores de textura (Benítez, 2011).

En este trabajo se profundizó en los compuestos como los flavonoides y los minerales Ca y Fe presentes en la cáscara de cebolla. La cual podría representar un gran aporte como un alimento funcional.

1.2.2. Compuestos flavonoides

Los compuestos fenólicos son una clase importante de fitoquímicos presentes en las cebollas y sus subproductos, como la cáscara. Estos compuestos son conocidos por sus propiedades bioactivas, incluyendo efectos antioxidantes, antiinflamatorios y antimicrobianos. Entre los compuestos fenólicos, los flavonoides son particularmente destacados. Las cebollas contienen una alta concentración de estos compuestos, especialmente en la cáscara, que ha demostrado ser más rica en fitoquímicos que la pulpa comestible (Marefati et al., 2021). Los flavonoides poseen numerosas propiedades bioactivas beneficiosas para la salud humana. Estas incluyen efectos anticancerígenos, antiolesterol, antidepresivos, antidiabéticos, antifúngicos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antiosteoporosis, antioxidantes, hipotensores y antiespasmódicos (Albishi et al., 2013).

Los polifenoles se dividen en dos grandes grupos: flavonoides y no flavonoides. Los flavonoides, caracterizados por una estructura de fenil cromo (C6-C3-C6), se subdividen en seis categorías según el grado de insaturación y oxidación del esqueleto de tres carbonos: flavonas, flavanoles, flavanonas, flavonoles, isoflavonoides y antocianidinas (Balasundram et al., 2006). Dentro de los flavonoles, los compuestos más destacados son el kaempferol, la miristina, la quercetina y el derivado metilado isorhamnetina. Se han identificado al menos 25 flavonoles diferentes en las cebollas, con los derivados de la quercetina siendo los más abundantes en todos los cultivares (Slimestad et al., 2007). La cáscara exterior seca de la cebolla tiene una mayor concentración de quercetina en comparación con la parte comestible (Benítez, 2011).

En la Figura 1 se puede visualizar la proporción de polifenoles mayoritarios en la cebolla (Bahram-Parvar y Lim, 2018).

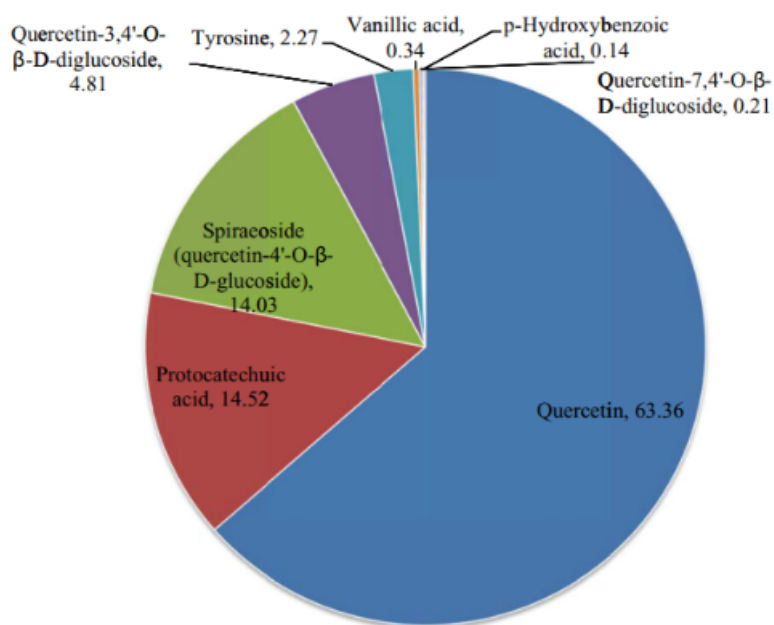


Figura 1: Proporción de polifenoles en cebolla

Los flavonoides son una subclase de compuestos fenólicos que desempeñan un papel crucial en la protección de las células vegetales contra el daño oxidativo y la radiación UV. La mayoría de los flavonoides son polifenoles importantes en los alimentos y se clasifican según su estructura química: flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavanoles, catequinas y antocianidinas (Dias et al., 2021). En las cebollas, encontramos principales dos de estas estructuras, los flavonoides, los flavonoles.

La quercetina es el principal compuesto fenólico en la cáscara de cebolla, conocido por sus múltiples beneficios para la salud. El diglucósido de quercetina (Qdg) y el monoglucósido (Qmg) pueden llegar a representar hasta el 93 % del contenido total de flavonoles en las cebollas como se observan en algunos trabajos (Sellappan y Akoh, 2002). La quercetina, en su forma aglicona, es también un componente principal de varios glucósidos flavonoides como la rutina. Los glucósidos pueden clasificarse por el tipo de glicona, por el tipo de enlace glucosídico o por la aglicona (Zhao et al., 2021). Estudios han demostrado que la quercetina puede inducir la transformación de adipocitos controls en adipocitos marrones, un proceso conocido como "browning", lo cual incrementa la termogénesis y el gasto energético, ayudando a prevenir la obesidad (Pei et al., 2021). En un análisis de cromatografía líquida de alto rendimiento, la quercetina fue identificada como el compuesto responsable de este efecto, mediado en parte por la activación de la proteína quinasa activada por AMP (AMPK).

Además, la quercetina tiene una alta capacidad antioxidante y puede reducir la inflamación al regular negativamente varias citoquinas, convirtiéndose en un potencial agente terapéutico natural (Y. Li et al., 2016). Se ha demostrado que inhibe la proliferación de células cancerosas, especialmente en el cáncer colorrectal, y que la combinación de quercetina con N-Acetilcisteína (NAC) muestra una mayor eficacia en la reducción de oxidantes celulares y en la inhibición de la migración e invasión de células cancerosas (Tanomrat et al., 2023).

Los extractos de cáscara de cebolla también han demostrado tener propiedades antimicrobianas significativas. Estos extractos pueden inhibir el crecimiento de diversas bacterias patógenas, lo que sugiere su potencial uso como conservantes naturales en la industria alimentaria (Sagar y Pareek, 2020b). Además, los compuestos fenólicos en la cáscara de cebolla pueden reducir la inflamación al inhibir la producción de citoquinas proinflamatorias y la actividad de enzimas proinflamatorias (Guillamon, 2018).

1.2.3. Minerales Ca y Fe

El desarrollo de panificados funcionales a partir de subproductos de la industria hortofrutícola, como la cáscara de cebolla, ofrece una oportunidad para mejorar la calidad nutricional. La cáscara de cebolla es rica en calcio, hierro, fósforo, sodio, potasio, cobre, magnesio y zinc que son esenciales para la salud humana (Shovon et al., 2013).

El calcio es un constituyente importante de los huesos y dientes, desempeñando un papel esencial como segundo mensajero en las vías de señalización celular. Las concentraciones de calcio circulante están estrechamente controladas por la hormona paratiroidea y la vitamina D. Cuando las ingestas de calcio son inadecuadas, se produce una descalcificación que debilita los huesos y dientes (Higdon y Delage, 2014).

El hierro es un oligoelemento indispensable para la salud humana, desempeñando un rol importante en una amplia variedad de procesos metabólicos, incluido el transporte de oxígeno, síntesis de ADN, síntesis de enzimas y transporte de electrones. La deficiencia de hierro es un problema significativo a nivel mundial, afectando a más de mil doscientos millones de personas y siendo la patología nutricional más prevalente en el mundo (Higdon y Delage, 2014).

La cáscara de cebolla ha demostrado contener cantidades significativas de calcio y hierro (Shovon et al., 2013). En un estudio, se encontró que las cebollas contenían entre 694.41 y 1824.29 mg/kg de calcio (Akinwande y Olatunde, 2015). Además, otro estudio evaluó la distribución de calcio en las cebollas observándose que la mayor concentración se encuentra en la cáscara marrón así como el hierro y el magnesio, esta distribución se debe a la baja movilidad de estos elementos y por esta razón se encuentra en las capas externas del bulbo (Sharma et al., 2016). También podemos observar que contiene hierro en cantidades significativas, lo que la convierte en una fuente potencialmente útil para mejorar la ingesta de este mineral. En un estudio, se destacó que las cebollas son ricas en hierro, además de otros minerales esenciales como el calcio (Akinwande y Olatunde,

2015).

1.2.4. Fibras Alimentarias

Las fibras alimentarias son componentes vegetales que no se digieren ni se absorben en el intestino delgado, pero tienen efectos beneficiosos en el sistema digestivo y en la salud en general. Estas fibras se clasifican en dos tipos: solubles e insolubles. Las fibras solubles se disuelven en agua y pueden ayudar a reducir los niveles de glucosa y colesterol en la sangre. Las fibras insolubles, por otro lado, no se disuelven en agua y ayudan a acelerar el paso de los alimentos a través del sistema digestivo, lo cual es beneficioso para prevenir el estreñimiento y mantener la salud intestinal Anderson et al., 2009.

Un consumo adecuado de fibras alimentarias está asociado con una reducción del riesgo de enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. Además, las fibras alimentarias contribuyen a la sensación de saciedad, lo que puede ayudar en el control del peso corporal Slavin, 2013. La fibra dietética también es crucial para el mantenimiento de una microbiota intestinal saludable, la cual juega un papel importante en la regulación del apetito, los procesos metabólicos y las vías inflamatorias crónicas (Barber et al., 2020).

La cáscara de cebolla ha demostrado ser una fuente rica en fibras alimentarias. En un estudio realizado por Benítez, 2011, se encontró que la cáscara de cebolla contiene una cantidad significativa de fibras dietéticas, especialmente fibras insolubles que pueden promover la salud intestinal y prevenir el estreñimiento. Las fibras alimentarias presentes en la cáscara de cebolla también contribuyen a mejorar el perfil nutricional de los productos alimenticios cuando se incorporan como ingredientes.

Incorporar cáscara de cebolla en la elaboración de panes funcionales no solo añade valor nutricional, sino que también mejora las propiedades funcionales del producto final. Las fibras alimentarias de la cáscara de cebolla pueden aumentar la sensación de saciedad, ayudar a regular los niveles de azúcar en la sangre y mejorar la salud intestinal. Además, las fibras insolubles pueden mejorar la textura y la estructura del pan, haciéndolo más saludable y atractivo para los consumidores preocupados por su salud (Kaczmarczyk et al., 2012).

1.2.5. Propiedad Antioxidante

Los informes científicos muestran que la actividad antioxidante de la cáscara de la cebolla está estrechamente relacionada con el contenido total de compuestos fenólicos, principalmente quercetina. Los polifenoles poseen una fuerte actividad de eliminación de radicales libres gracias a su capacidad para actuar como donantes de hidrógeno o electrones (Piechowiak y Balawejder, 2019).

El estrés oxidativo se refiere a un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad del cuerpo para detoxificarlas o reparar el daño que

causan. Este desequilibrio puede llevar a daños en las células, proteínas y ADN, y está asociado con el desarrollo de diversas enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y enfermedades neurodegenerativas (Pham-Huy et al., 2008). Los antioxidantes, como los polifenoles presentes en la cáscara de cebolla, juegan un papel crucial en la neutralización de estas ROS, protegiendo así al organismo del estrés oxidativo.

La quercetina, el principal compuesto fenólico en la cáscara de cebolla, es particularmente efectiva en la eliminación de radicales libres. Se ha demostrado que la quercetina puede aumentar la actividad de enzimas antioxidantes endógenas como la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx), que son fundamentales en la defensa antioxidante del cuerpo (Boots et al., 2008). Además, la quercetina puede inhibir la oxidación de lípidos y reducir el daño oxidativo al ADN, contribuyendo a la protección contra enfermedades crónicas (Kumar y Pandey, 2013).

Estudios han demostrado que los extractos de cáscara de cebolla tienen una capacidad antioxidante significativamente mayor que la pulpa comestible. Esto se debe a la mayor concentración de compuestos fenólicos en la cáscara, que puede ser utilizada como una fuente natural de antioxidantes en la industria alimentaria y en la formulación de productos funcionales (Benítez, 2011). La incorporación de extractos de cáscara de cebolla en productos alimenticios no solo mejora el perfil antioxidante de estos productos, sino que también puede prolongar su vida útil al prevenir la oxidación de lípidos y otros componentes sensibles a la oxidación (Sagar et al., 2020).

Además de la quercetina, la cáscara de cebolla contiene otros compuestos fenólicos que contribuyen a su actividad antioxidante. Estos incluyen flavonoles, flavonas y antocianinas, que trabajan en conjunto para neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño oxidativo (Slimestad et al., 2007). Estos compuestos también pueden modular la actividad de varias vías de señalización celular, contribuyendo a sus efectos protectores contra el estrés oxidativo (Zhao et al., 2021).

La actividad antioxidante de la cáscara de cebolla no solo tiene implicaciones para la salud humana, sino también para la industria alimentaria. Los antioxidantes naturales pueden ser utilizados para preservar la calidad de los alimentos, inhibiendo la oxidación de lípidos y prolongando la vida útil de los productos alimenticios (Shah et al., 2014). Esto es especialmente relevante en el contexto de la economía circular y la sostenibilidad, ya que el uso de subproductos agrícolas como la cáscara de cebolla puede reducir el desperdicio y agregar valor a la cadena de suministro alimentario (Siró et al., 2008).

1.2.6. Propiedad Antiglicante

El tratamiento térmico es el proceso tecnológico más ampliamente utilizado para preservar los alimentos y extender su vida útil. La aplicación de calor al alimento actúa como un potente catalizador de una serie de reacciones químicas entre sus constituyentes, donde la generación de compuestos pardos y aromas característicos son quizás las conse-

cuencias más evidentes para el consumidor. Una de las reacciones que pueden ocurrir en este proceso es la reacción de Maillard (RM) (Navarro Gómez, 2017). De manera general, la reacción es iniciada por la condensación entre un grupo amino libre de un aminoácido, péptido o proteína y un grupo carbonilo de un azúcar reductor o compuesto carbonílico generado en la propia RM, en la oxidación lipídica o en la degradación del ácido ascórbico. La RM, cuando tiene lugar en sistemas biológicos (células, fluidos, tejidos y órganos), se denomina glicación, formando como fin último productos de glicación avanzada (AGEs, por sus siglas en inglés) (Navarro Gómez, 2017). Los AGEs constituyen un amplio grupo de compuestos, tales como N ϵ -carboximetil-lisina, pirralina y argpirimidina.

Los efectos negativos de los AGEs en los sistemas biológicos se atribuyen fundamentalmente a su capacidad entrecruzante, así como a su acción inflamatoria y pro-oxidante. Numerosos estudios han establecido una relación directa entre la acumulación de AGEs y varias enfermedades, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades renales y enfermedades neurodegenerativas (Navarro Gómez, 2017). La aminoguanidina (AG), uno de los primeros inhibidores de AGEs estudiados *in vitro* e *in vivo*, es una hidracina capaz de atrapar compuestos α -dicarbonilos como metilgloxal (MGO), glicoxal (GO) o 3-desoxiglucosona (3-DG) y ejercer una actividad antioxidante al quelar radicales hidroxilos libres (Navarro Gómez, 2017).

La cáscara de cebolla, rica en compuestos fenólicos como la quercetina, ha demostrado tener un potencial significativo en la inhibición de la formación de AGEs. La quercetina y otros flavonoides presentes en la cáscara de cebolla pueden actuar como inhibidores de la glicación debido a su capacidad para interactuar con grupos carbonilos reactivos y prevenir la formación de productos intermedios que conducen a la formación de AGEs. Este compuesto también puede ejercer efectos antioxidantes, reduciendo el estrés oxidativo que promueve la formación de AGEs (Takabe et al., 2018). Esto es especialmente relevante en la formulación de alimentos funcionales diseñados para poblaciones en riesgo de desarrollar diabetes y otras enfermedades crónicas (Zeng et al., 2017).

En estudios recientes, se ha observado que los extractos de cáscara de cebolla tienen una actividad antiglicante significativa. Por ejemplo, Guillamon, 2018 y Kousar et al., 2017 encontraron que los extractos de cebolla y en sus subproductos podían reducir la formación de AGEs en modelos *in vitro*, lo que sugiere su potencial uso como agentes antiglicantes naturales en la prevención de enfermedades relacionadas con la glicación. Este efecto se atribuye principalmente a la presencia de quercetina y otros flavonoides que actúan no solo como captadores de radicales libres, sino también como inhibidores directos de la reacción de glicación (M.-Y. Kim et al., 2008; Peng et al., 2023).

Además, estudios han demostrado que las antocianinas pueden inhibir la formación de AGEs y reducir la acumulación de productos glicados en varios modelos experimentales, proporcionando una doble acción antioxidante y antiglicante (Chen et al., 2022).

Por otro lado, el 5-hidroxitilfurfural (HMF) es otro compuesto relevante que se forma durante el tratamiento térmico de los alimentos. El HMF se genera principalmente a

través de la caramelización y la reacción de Maillard, siendo un marcador importante de la calidad y frescura de los productos procesados (Capuano y Fogliano, 2011). Su presencia en los alimentos indica la extensión del procesamiento térmico y el almacenamiento prolongado, ya que sus niveles aumentan con el tiempo y la temperatura. A pesar de que el HMF es común en muchos alimentos, algunos estudios han sugerido que en altas concentraciones puede tener efectos tóxicos y mutagénicos (Capuano y Fogliano, 2011).

Se ha encontrado que la quercetina, un flavonoide abundante en la cáscara de cebolla, puede inhibir tanto la reacción de Maillard como la formación de 5-HMF (Bengmark y Gil, 2007). Además, un estudio de Yang et al., 2021 encontró que los compuestos sulfhídricos extraídos de la cebolla, como la L-cisteína, pueden inhibir la reacción de Maillard al atrapar 5-HMF. La L-cisteína se combina con 5-HMF para formar un aducto más seguro, reduciendo así la cantidad de 5-HMF libre en los alimentos calentados. Este hallazgo sugiere que la incorporación de cáscara de cebolla en los productos horneados podría contribuir a la inhibición de la formación de 5-HMF, mejorando la seguridad y calidad del pan.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es estudiar los principales compuestos bioactivos presentes en un residuo de la industria hortofrutícola como es la cáscara de la cebolla, y evaluar su potencial funcionalidad al incorporarse en productos panificados desde una perspectiva de una alimentación y salud sostenible

2.1. Objetivos específicos

- Estudiar los principales compuestos bioactivos presentes en cáscara de cebolla.
- Estudiar la actividad antioxidante y antiglicante de este subproducto.
- Evaluar su potencial como ingrediente en la elaboración de panes funcionales

3. Materiales y Métodos

3.1. Preparación de las muestras de cebolla

Las cáscaras de cebolla y la pulpa empleada en este estudio fueron suministradas por la industria. En el caso de la cáscara, se sometió a un proceso de lavado para eliminar impurezas, seguido de un posterior secado a 60^o durante 24 horas. La pulpa se extrajo y se secó en las mismas condiciones. Ambas muestras fueron a la trituras utilizando un molinillo de café BOSCH modelo TSM6A011W, con el objetivo de reducir el tamaño de partícula y alcanzar una consistencia final de polvo.

3.1.1. Estudio de composición proximal de las muestras de cebolla

Para realizar la caracterización composicional, se inició con la determinación de humedad, la cual fue evaluada de forma gravimétrica mediante una estufa de secado a 105°C, según el método AOAC (1999). Seguidamente, se analizaron las proteínas totales mediante el método de Kjeldahl, calculando el contenido de nitrógeno total con un factor de conversión de 6,25, conforme a AOAC (1999). La grasa total fue determinada mediante extracción por Soxhlet con hexano (Figura 2), siguiendo el protocolo de AOAC (1999).

Posteriormente, se procedió a la determinación de fibra dietética total utilizando un método de Prosky un método enzimático gravimétrico. Este método involucra la digestión de proteínas e hidratos de carbono con enzimas específicas, seguida de la precipitación del residuo con alcohol, previa corrección de cenizas y proteínas remanentes, de acuerdo con AOAC (1999). Las cenizas (minerales) se analizaron posteriormente mediante un método gravimétrico utilizando una mufla a 550°C, siguiendo el método AOAC (1999).

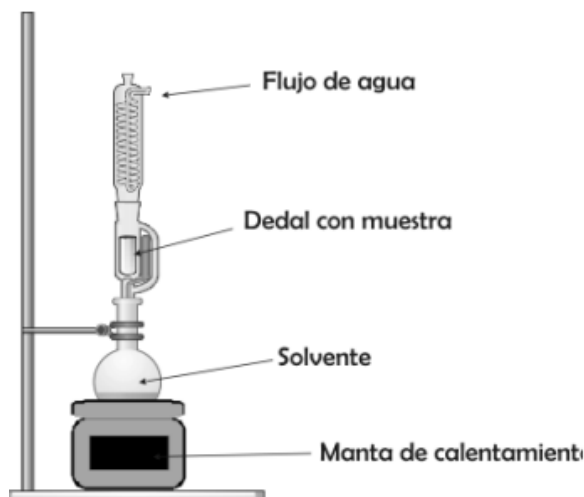


Figura 2: Dispositivo de extracción soxhlet

Una vez obtenidos los resultados de los demás componentes de la muestra, se determinó el contenido de carbohidratos totales por diferencia según AOAC (1999).

$$\% \text{Glúcidos totales} = 100 - \% \text{Agua} - \% \text{Proteínas} - \% \text{Lípidos} - \% \text{Cenizas}$$

$$\% \text{Glúcidos asimilables} = \% \text{Glúcidos totales} - \% \text{Fibra}$$

La determinación de los minerales se llevó a cabo mediante espectroscopia de absorción atómica, elaborando una curva de calibración específica para cada mineral. Para el calcio (Ca), se utilizaron concentraciones de 0.5 mg/ml, 2 mg/ml y 4 mg/ml, mientras que para el hierro (Fe) se prepararon soluciones de 0.2 mg/ml, 0.5 mg/ml, 1 mg/ml y 2 mg/ml. La medición de Fe y Ca se realizó a partir de las cenizas obtenidas; estas cenizas se pesaron en una balanza analítica y luego se disolvieron en una solución de ácido nítrico al 0.1 %. Se añadió lantano en exceso para formar un complejo estable con el fosfato, lo que permite la liberación del calcio para su análisis. Esto es fundamental, ya que si el calcio permaneciera unido al fosfato, se formaría un pirofosfato altamente refractario, impidiendo una determinación precisa del calcio.

3.1.2. Propiedades Bioactivas

Las propiedades bioactivas se cuantificaron mediante la determinación de actividad antioxidante frente a radicales ABTS y polifenoles totales por el método de Folin-Cicolateau. Mientras que el efecto sobre el desarrollo de los productos avanzados de glicación mediante la determinación de compuestos fluorescentes libres y la formación de HMF.

Preparación de muestras

Para la extracción de los compuestos bioactivos de la cáscara de cebolla, se pesaron 0,11 gramos de la muestra en balanza analítica y se realizó una extracción utilizando DMSO en H₂O (60 µL de DMSO y 940 µL de H₂O).

Determinación del contenido de polifenoles totales por Folin-Ciocalteu

En la determinación de los polifenoles totales la preparación de la muestra se realizó de la misma manera que para ABTS.

En el método de Folin-Ciocalteu lo que ocurre es que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin que es un agente oxidante, el reactivo contiene molibdato y tungstato sódico, esto va a reaccionar con cualquier tipo de fenol y se forma un complejo. En esta reacción lo que sucede es una transferencia de electrones que se da en pH básico, por este motivo en la solución donde ocurre dicha reacción se agrega phosphate buffer solution. Al ser reducido el reactivo de folin por los grupos fenólicos, el complejo resulta como un color azul intenso que absorbe a una longitud de onda 750nm y se observa que a mayor intensidad mayor contenido de polifenoles (Gutiérrez Avella et al., 2008). Al realizar este método se debió construir una curva de calibración con patrones de ácido gálico (de concentración 1.0 mg/ml, 0.8mg/ml, 0.4 mg/ml, 0.2mg/ml y 0.05mg/ml), los resultados se expresaron en mg equivalente ácido gálico/g ms de materia seca (mg EAG/g ms).

El contenido fenólico total de los tratamientos de pan se midieron siguiendo el método de Jiménez-Moreno et al., 2020, con algunas modificaciones menores. Se añadió el reactivo Folin Ciocalteu (1000 l) en 200 l de cada muestra de extracto y después de 5 min, se añadieron 800 L de carbonato de sodio al 7,5 % en cada solución y la solución se mantuvo en oscuridad durante 1,5 h. Posteriormente, se midió la absorbancia de cada muestra a 765 nm utilizando espectrofotómetro (UVI720, China). La concentración de TPC se midió mediante la curva de calibración del ácido gálico a diferentes concentraciones en la ecuación de regresión. Las lecturas se tomaron y se representaron como microgramos de equivalente de ácido gálico por miligramo de extracto seco (mg de GAE/g de extracto).

Determinación de actividad antioxidante por ABTS

El método se basa en el ensayo de decoloración en la cuantificación del radical ABTS+ que se genera por una reacción de oxidación del ABTS, este al estar en contacto con un antioxidante se reduce al ABTS nuevamente. El catión ABTS+ es un cromóforo verde azulado que absorbe a una longitud de onda de 750 nm. Entonces la decoloración nos indicará el porcentaje de inhibición del radical ABTS+, una menor coloración indicará una mayor concentración del antioxidante (Antezana et al., 2018).

Para la determinación se realizó una curva de calibración con patrones de Trolox (1.5mM, 1.0mM, 0.8mM, 0.5mM, 0.25mM), expresándose los resultados en equivalente µmoles trolox/g de materia seca (µmoles TE/g ms).

Determinación de actividad antiglicante

La actividad antiglicante se realizó sobre la cáscara de cebolla y la pulpa, mediante la determinación de compuestos fluorescentes libres, la formación de Hidroximetilfurfural (HMF) y el seguimiento de la reacción de glicación en sistemas modelos de Metilglioxal y albumina. Se prepararon las soluciones de muestra pesando con balanza analítica, se agregó las soluciones Carrez, se vortexó y se centrifugó a 4500 rpm por 10 min, se recoge el sobrenadante y se filtró con filtro de poro de 0,45 μm previo a los análisis.

El modelo utilizado fue la reacción de glicación entre la albúmina sérica bovina (BSA) y el metilglioxal (MGO), con las muestras cáscara de cebolla y pulpa como inhibidores. La aminoguanidina se usó como inhibidor de referencia para la reacción; se realizó una curva estándar con cinco concentraciones entre 0.0005 y 0.1 mol /L.

Se incubaron concentraciones entre 0.01 y 1 mg /mL de extractos de las muestras cáscara de cebolla y pulpa en presencia o ausencia de 5 mM de MGO y 1 mg /mL de BSA. La mitad de las muestras se almacenaron a -20°C inmediatamente después de su preparación (Día 0), mientras que la otra mitad se incubó a 37°C durante 7 días y luego se almacenó a -20°C hasta su análisis (Día 7).

Los AGEs fluorescentes se determinaron mediante un espectrofluorómetro (Thermo Scientific™ Varioskan™) utilizando una longitud de onda de excitación de 340 nm y una longitud de onda de emisión de 420 nm. El porcentaje de inhibición de la reacción de glicación se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)} = \left(1 - \frac{F(\text{muestra}) - F(\text{IFC})}{F(\text{C+})} \right) \times 100$$

donde F (muestra) es la fluorescencia de la muestra, F (IFC) es el control de fluorescencia intrínseca (la fluorescencia del extracto herbal solo), y F (C+) es la fluorescencia del control positivo (BSA + MGO). Los resultados se expresan como valores IC50, que representan la concentración del extracto necesaria para inhibir el 50 % de la reacción de glicación.

Determinación de compuestos fluorescentes libres

Se construyó una curva de calibración con estándar fluorescente con un rango de 0,300 – 0,03 $\mu\text{mol/L}$ de sulfato de quinina en 0,1 mol/L H_2SO_4 . Luego para realizar las medias se debe sembrar por triplicado 300 μL de cada muestra y se mide a λ 340nm excitación y λ 420nm emisión. Los resultados se expresan como equivalente de sulfato de Quinina $\mu\text{g/g}$ muestra (ESQ $\mu\text{g/g}$ muestra)

Determinación HMF

La determinación se realizó por cromatografía líquida de alta performance RP-HPLC con detector de UV-Vis marca Hewlett-Packard. Para la cuantificación se utilizó el método de estándar externo a partir de HMF estándar comercial (Sigma Aldrich), con una curva

de calibración de cinco puntos con un rango de 0,005 a 0,15 mg/L. La columna que se utiliza es de fase reversa C18: Júpiter de Phenomenex y la fase móvil utilizada es agua: metanol (90:10) mediante elución isocrática.

3.2. Desarrollo de los panes

Se elaboraron cinco formulaciones de pan, un pan control control con 100 % de harina de trigo 0000, 3 con el agregado de cáscara de cebolla con un grado de sustitución de harina de 7 % (m/m), 11 % (m/m) y 15 % (m/m) respectivamente. Finalmente, se preparó una de un 7 % de sustitución de harina por una mezcla de cáscara de cebolla y pulpa de cebolla (relación 30:70). (Tabla1) Las masas fueron preparadas en una amasadora industrial (Bongard) con un amasado lento de 5 minutos y uno rápido de 10, luego se pone a fermentar dejando descansar bajo nylon 10 minutos, se dividió, se le dió forma y colocó en molde y se llevó a fermetadora (Bongard) durante 1 hora a 30°C. Por último se hornearon durante 39 minutos en horno (Bongard). En la tabla 1 se pueden ver los ingredientes y sus cantidades utilizada en la elaboración del pan

Tabla 1: Ingredientes y cantidades utilizadas en la elaboración de los panes

Ingredientes (g)	Grado de Sustitución				
	0 %	7 %	11 %	15 %	7 % mezcla
Harina de trigo 0000	1230	1144	1095	1046	1110
cáscara de cebolla	0	86	135	185	24
Pulpa de cebolla	0	0	0	0	60
Agua	677	775	824	886	716
Sal	18	18	18	18	12
Levadura fresca	37	37	37	37	45
Azúcar	36	36	36	36	336
Aditivo*	10	10	10	10	9
Aceite	25	25	25	25	24
Gluten	0	0	0	0	6

*composicion del aditivo: Ins 1100 amilassa, Ins 300 ácido ascórbico, Ins 341 iii fosfato tricálcico, Ins 927 azodicarbonamida, Ins 481 lactilato sódico, Ins 482 lactilatos cálcicos

3.2.1. Composición proximal de los panes

Se realizó el estudio de composición proximal a los panes como se menciona en el punto 4.1.3.

3.2.2. Determinación de compuestos volátiles

Para determinar el perfil de compuestos volátiles, se empleó la técnica descrita por Poinot et al., 2007, que consiste en una extracción en espacio cabeza utilizando una fibra y posterior análisis de los compuestos volátiles mediante GC-MS. La extracción se llevó a cabo de forma automatizada con un inyector automático AOC-6000 Shimadzu. En cada vial con septa, se colocaron 2g de muestra y se añadieron 10 uL de estándar interno (solución de estándar 0,278 g/L de heptanol). La extracción se realizó con una fibra de SPME 50/30 mm DVB/C-WR/PDMS Agilent (1 cm). Las condiciones de extracción incluyeron 15 minutos de equilibrio a 60°C y 60 minutos de extracción a la misma temperatura, con una agitación constante de 250 rpm.

Posteriormente, la muestra se inyectó en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas GC-MS Shimadzu QP 2020, que contaba con una columna DB-WAX (30 m longitud x 0,25 mm d.i. x 0,25 μ m). Se utilizó una energía de ionización de 70 eV y la interfase se mantuvo a 200 °C. El programa de temperatura empleado fue de 40 °C (8 min), aumentando 3 °C/min hasta 180 °C, luego 5 °C/min hasta 220 °C (manteniendo esta temperatura por 10 min), y finalmente subiendo 20 °C/min hasta 235 °C (manteniendo esta temperatura por 5 min). La temperatura del inyector y la interfase se mantuvieron a 240 °C. Se programó el espectrómetro de masas para realizar un escaneo cada 0,5 segundos en el rango de masas de m/z 40 a 350.

La identificación de los compuestos volátiles se realizó utilizando bases de datos con espectros de referencia y una base de datos propia creada con estándares y datos reportados en la literatura.

3.2.3. Determinación de propiedades fisicoquímicas

Determinación de pH

Se realizó la determinación de pH en las masas de pan con concentraciones de cáscara de cebolla de 0 % (control), 7 % y 7 % mezcla. Para ello, se calibró el pH-metro utilizando los buffers correspondientes y, posteriormente, se introdujo el electrodo en cada muestra de masa para realizar la medición.

Determinación de Color

Se toma una fracción de las muestras, se tritura la miga y la corteza juntas y se coloca en un espectrofotómetro portátil Konica Minolta modelo CM-2300d. En este estudio, se empleó el estándar internacional conocido como el espacio de color Lab* (CIELAB), el cual establece una relación entre valores numéricos de color y la percepción visual humana. En este contexto, el valor L* se encarga de definir la claridad, el componente a* refleja la cantidad de componente rojo (+) o componente verde (-), y el componente b* representa la cantidad de componente amarillo (+) o componente azul (-). Estos conceptos se ilustran en la Figura 3, (Arone Palomino, 2015) .

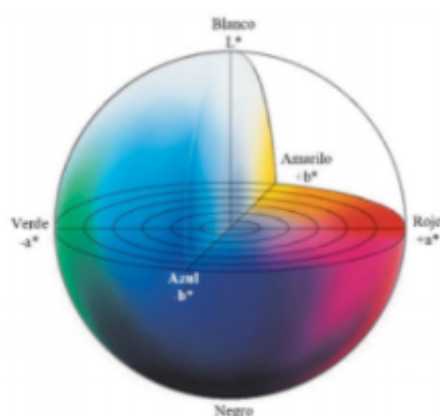


Figura 3: Esfera de color con los parámetros L, a y b del sistema CIELab (Konica Minolta, 2016)

3.2.4. Determinación de perfil de textura

Se utilizó un Analizador de Textura TA-XT2i (Stable Micro Systems Ltd.) con el software "Texture Expert Exceed" para determinar la dureza, elasticidad y cohesión a temperatura ambiente (24 °C). Se cortaron cuatro rebanadas de pan de 25 mm de grosor de la parte central de cada barra. Se llevó a cabo una prueba de doble compresión (TPA) utilizando una sonda cilíndrica con un diámetro de 25 mm sobre cada rebanada, con una compresión hasta una profundidad del 50 %, a una velocidad de 2 mm/s y un intervalo de 30 s entre la primera y segunda compresión. Posteriormente, se calculó el promedio de cada uno de los parámetros medidos.

3.2.5. Propiedades Bioactivas del Producto

Las propiedades bioactivos se cuantificaron mediante la determinación de actividad antioxidante frente a radicales ABTS y polifenoles totales por el método de Folin-Cicolateau como se describe en el punto 3.1.2 y la determinación de propiedades antiglicantes según lo descrito en el punto 3.1.2.

Preparación de muestra Se realizó una extracción de 5 % m/v pan/ DMSO/H₂O (relación: 6/94).

4. Resultados y discusión

4.1. Estudio de la cáscara de cebolla

4.1.1. Composición proximal

Los resultados obtenidos en el análisis de la cáscara de cebolla (tabla 2). El contenido de humedad fue menor al 10 % lo que implica que sea un producto seco estable al almacenamiento a largo plazo esto se observa debido a que la cáscara que se utilizó fue lavada y secada antes de su procesamiento en el laboratorio. Valores mayores de humedad podrían causar deterioro y posible proliferación de microorganismos (Benítez, 2011). Respecto al contenido de lípidos ($0,48 \pm 0,02$ %) de cebolla es baja en grasas. Esto la hace adecuada para aplicaciones en las que se desea un bajo contenido graso, como productos de panadería y alimentos bajos en calorías.

Las cantidades presente de proteínas es moderado ($2,17 \pm 0,02$ %). Aunque la cáscara de cebolla no es una fuente principal de proteínas, aún puede contribuir al contenido proteico de alimentos cuando se usa como ingrediente.

El contenido de cenizas de $9,37 \pm 1,11$ %, es un buen indicador de que la cáscara de cebolla contiene valores significativos de minerales y componentes inorgánicos, teniendo potencial uso como suplemento mineral en alimentos o en aplicaciones agrícolas. Dentro de los minerales se analizaron Ca y Fe siendo el calcio el que se encontró en mayor proporción alcanzando un $0,22 \pm 0,02$ % del total de las cenizas.

El nivel total de carbohidratos alcanza el $79,16 \pm 1,20$ %, es considerablemente alto. Sin embargo, es esencial destacar que solo el $15,45 \pm 5,85$ % de estos carbohidratos son asimilables, mientras que el $63,71 \pm 5,74$ % es fibra siendo esta un aporte importante. En los últimos años se han publicado trabajos en los cuales se relaciona la fibra con efectos beneficiosos sobre la salud digestiva y la regulación del azúcar en sangre y la saciedad (Wu et al., 2023), (Slavin y Green, 2007).

A partir de estos resultados se podría afirmar que la cáscara de cebolla es un recurso valioso como ingrediente en la producción de alimentos altos en fibra presentando una composición nutricional interesante y versátil que puede tener varias aplicaciones en la industria alimentaria.

Debido a que se realizarán panes con incorporación de cáscara y pulpa de cebolla se analizó la composición de fibra total y de minerales, (hierro y calcio) (Tabla 3). Se puede observar que las concertaciones presentes en la pulpa son menores que en la cáscara para los tres componentes analizados. La pulpa está compuesta principalmente de agua y carbohidratos y tiene menos fibra y minerales en comparación con la cáscara (Benítez, 2011). Esto se debe a que las capas externas de la cebolla acumulan más nutrientes como parte de su estructura protectora y son ricas en compuestos bioactivos y minerales (Kaur y Kapoor, 2001).

Tabla 2: Composición de la cáscara de cebolla

Constituyentes	Contenido
Humedad (%)	8,82±0,46
Lípidos (%)	0,48±0,02
Proteínas (%)	2,17±0,02
Fibra (%)	63,71±5,74
Carbohidratos (%)	79,16± 1,20
Carbohidratos asimilables (%)	15,45±5,85
Cenizas (%)	9,37±1,11
Ca (%)	0,22±0,02
Fe (%)	0,0042± 0,0004

Los resultados se expresan en base húmeda como valores promedio $\pm$ DE (n=3)

Tabla 3: Composición de la pulpa de cebolla

Constituyentes	Contenido
Fibra (%)	0,47±1,68
Ceniza (%)	4,45±0,34
Fe (%)	0,0003±0,0003
Ca (%)	0,014±0,015

Los resultados se expresan en base húmeda como valores promedio $\pm$ DE (n=3)

4.1.2. Propiedades bioactivas

El estudio de la bioactividad se realizó sobre la cáscara y pulpa de cebolla. Se determinaron el contenido de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, inhibición de los radicales ABTS mediante el método de ABTS y la actividad antiglicante mediante los métodos ensayo de inhibición de la formación de productos de glicación avanzada (AGEs) mediante fluorescencia, cuantificación de 5-HMF mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) y de Medición de compuestos fluorescentes avanzados para detectar AGEs.

Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante

Respecto al contenido de polifenoles, se observó una mayor concentración en la cáscara frente a la pulpa siendo sus valores 112.91 ± 7.44 mg EAG/gms y 19.28 ± 3.78 mg/gms respectivamente (Figura 4). Como se aprecia en la figura 4, la cáscara de cebolla muestra un mayor contenido de estos compuestos. En el trabajo de López, se informa un contenido de polifenoles de 7 mg/g (López et al., 2014), el cual informa un contenido de polifenoles

de 7 mg/g para la pulpa de cebolla y con lo reportado por Sagar et al., 2020 que reporta valores medios entre 100 y 200 mg EAG/gms para cáscaras de cebolla de diferentes variedades.

Los resultados mostraron que la actividad antioxidante de la cáscara de cebolla fue de 699.02 ± 94.17 μ moles TE/gms, mientras que, para la pulpa, la actividad medida resultó de 162.49 ± 14.36 μ moles TE/gms como se observa en la figura 5. Los valores obtenidos para la pulpa se encuentran dentro del rango de valores reportados por Moncada 2019 quienes determinaron la actividad antioxidante del bulbo completo de distintas variedades, obteniendo valores de 95 a 472 μ moles TE/gms.

La mayor actividad antioxidante encontrada en este trabajo de la cáscara con respecto a la pulpa ya ha sido reportada independientemente de la variedad o la forma de cultivo (Lorenzo León et al., 2009, Martínez-Flórez et al., 2002, Moncada, 2019). Lorenzo León et al., 2009, destaca que a medida que se avanza hacia capas más internas de la cebolla, se encuentra un menor poder antioxidante (Figura 6). La diferencia observada entre la cáscara y la pulpa puede deberse a que los compuestos fenólicos actúan como un mecanismo de defensa contra agentes externos (Martínez-Flórez et al., 2002), y por esta razón, se encuentran en mayor cantidad en la superficie. Uno de los metabolitos secundarios más importantes en este aspecto es la quercetina, el flavonoide más abundante en la cebolla. Este compuesto posee una estructura con características antioxidantes, como una estructura orto-dihidroxi en el anillo B y un grupo hidroxilo en la posición 3, un doble enlace en las posiciones 2 y 3, y una función oxo en la posición 4, según Jara, s.f.

Es relevante destacar que la actividad antioxidante de la cebolla resultó superior a la de otras hortalizas, como la papa (Kuan et al., 2016), la mayoría de las zanahorias (Sun et al., 2009) y la cáscara de varias frutas (Bratovcic et al., 2021).

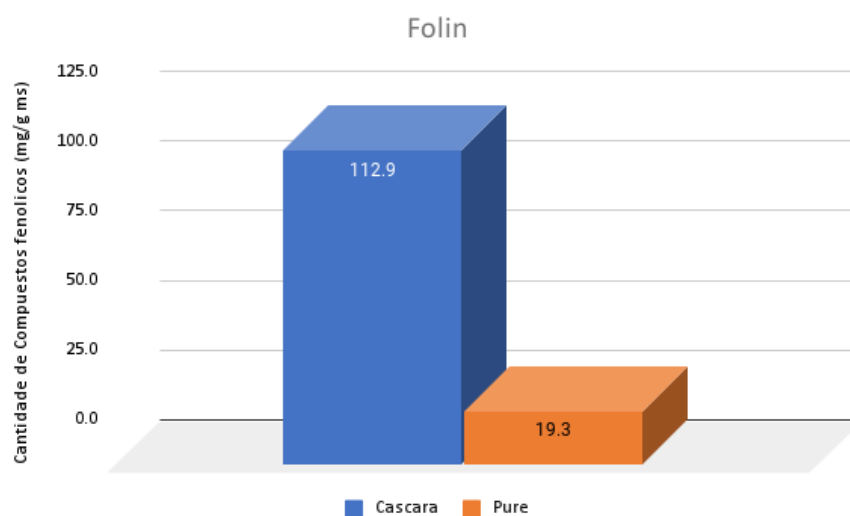


Figura 4: Cantidad de compuestos fenólicos presente en la cáscara y puré. El análisis ANOVA se realizó por columna usando la prueba de Tukey. Las medias en la columna con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

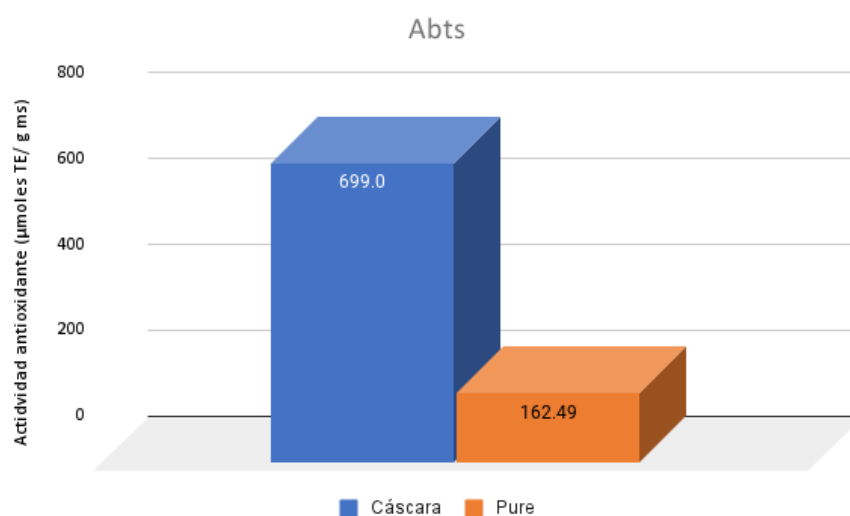


Figura 5: Actividad antioxidantes de la cáscara y puré. El análisis ANOVA se realizó por columna usando la prueba de Tukey. Las medias en la columna con letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Actividad antiglicante

Los resultados obtenidos del seguimiento de la reacción de glicación en sistemas mo-

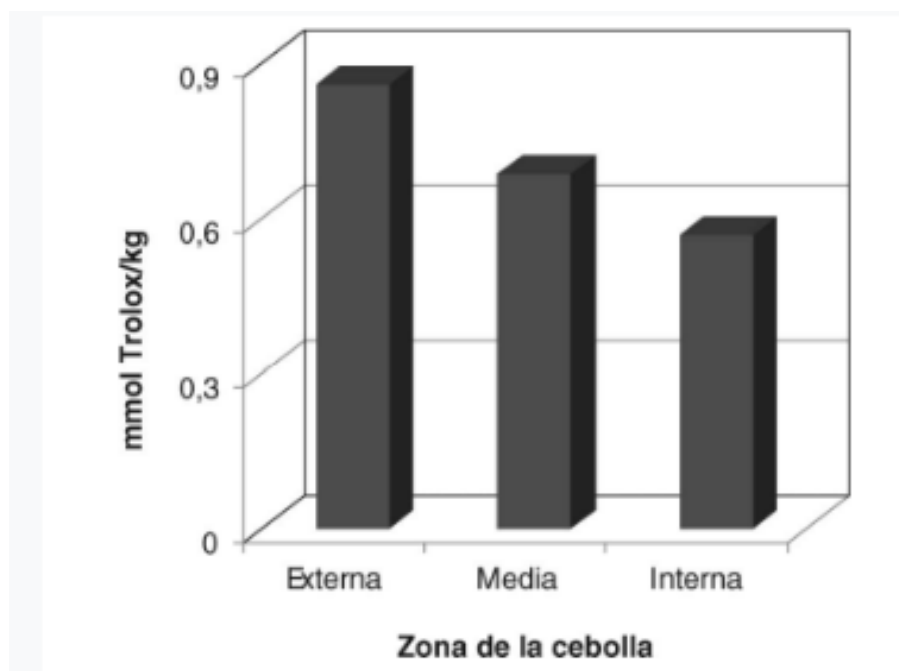


Figura 6: Actividad antioxidante obtenido en diferentes partes de la cebolla (Lorenzo et al., 2009)

delos mediante la incorporación de diferentes concentraciones de cáscara de cebollas se presentan en la Figura 7. Se observó que a mayores concentraciones de cáscara de cebolla se obtiene un aumento en la inhibición de la reacción, obteniendo un 78.24 % de inhibición de formación de AGEs a una concentración de 10mg/mL. La mayor actividad antiglicante podría estar relacionada con el mayor contenido en compuestos fenólicos, particularmente la quercetina. Se destaca que, a una concentración de 2 mg/mL, se logra un porcentaje de inhibición similar al obtenido por la aminoguanidina a una concentración de 0.4 mg/mL, siendo esta el inhibidor de referencia. Se calculó la concentración inhibitoria media (IC50) registrando un valor de 3.62 mg/ml.

En la evaluación de compuestos fluorescentes libres, la cáscara de cebolla registró 0.133 ESQ $\mu\text{g/g ms}$ y la pulpa 0.430 ESQ $\mu\text{g/g ms}$, esta diferencia se debe a la mayor concentración de compuestos fenólicos en la cáscara que actúan sobre la inhibición en la formación de compuestos fluorescentes. Estos compuestos, que contribuyen a la fluorescencia, se han identificado como productos avanzados de glicación AGEs (Rufián-Henares et al., 2006) que se forman a partir de los productos de Amadori mediante deshidratación y fisión, lo que produce reduconas incoloras y compuestos fluorescentes antes de la formación de los compuestos coloreados de Maillard. Además, los compuestos fenólicos pueden reaccionar con grupos amino, lo que reduce la disponibilidad de precursores para la reacción de Maillard y, en consecuencia, disminuye la formación de compuestos fluorescentes intermedios

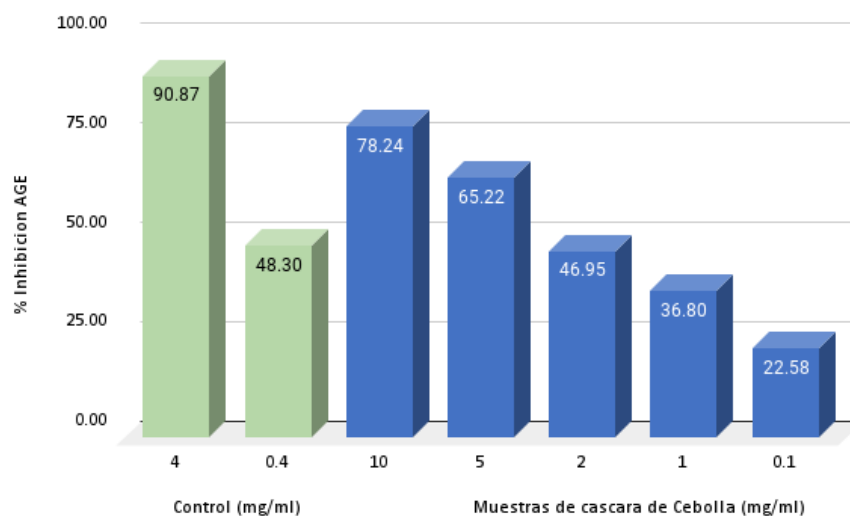


Figura 7: Inhibición de AGE de la cáscara de cebolla

(Jarillo, 2013), (Bahram-Parvar y Lim, 2018).

En cuanto a la determinación por HPLC de HMF para la cáscara de cebolla y para el puré, no se observó la presencia de este compuesto. Esto puede atribuirse a la falta de precursores para que ocurra la reacción, ya que la cebolla no tiene un alto porcentaje de proteínas. La reacción de Maillard parece no tener éxito, a pesar de que se haya sometido a un proceso de secado y contenga una alta concentración de hierro. La ausencia de HMF en cebollas podría deberse a la presencia de compuestos -dicarbonilo atrapantes y al hecho de que los compuestos fenólicos reaccionan con los grupos amino de las proteínas, dejando sin precursores para la reacción (Bahram-Parvar y Lim, 2018).

4.2. Desarrollo de los Panes

Las cuatro formulaciones de pan con los distintos porcentajes de incorporación de cáscara de cebolla (0, 7, 11 y 15 %) fueron elaborados según lo descrito en materiales y métodos presentando diferencias significativas en peso y altura. Figura 8 .

Se observa que a medida que aumenta la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de cebolla aumenta el peso de los panes disminuye la altura y se observa una miga más apretada sin la presencia de los alveolos característicos de la estructura del pan. A partir de una sustitución de 11 % de harina por cáscara de cebolla, se observó que la masa no se formaba bien. Al estirar la masa, esta se deshilachaba, no se unía adecuadamente, no crecía durante la fermentación y sus propiedades viscoelásticas eran muy distintas a las observadas en pan control y en el pan 7 %.

Otra causa posible en la disminución de la altura de los panes con incorporación de

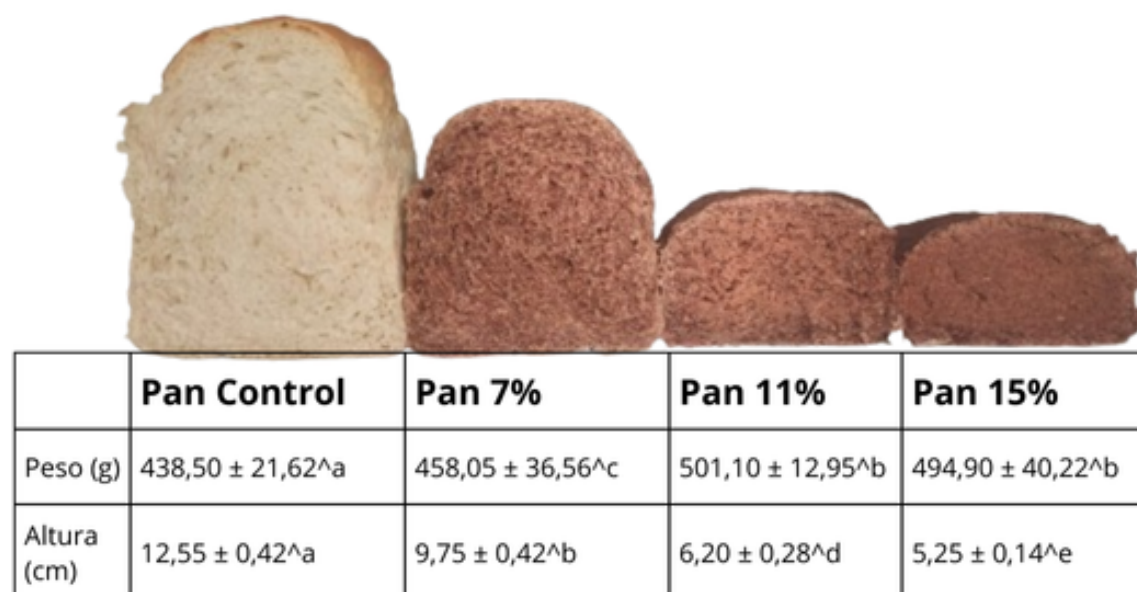


Figura 8: Foto tomada de un corte transversal de los panes control, 7 % cáscara , 11 % cáscara y 15 % cáscara, con valores de peso y altura. Los resultados se expresan como valores promedio ± DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

cáscara de cebolla podría ser los compuestos organosulfurados que esta contiene. Tanto el ajo como la cebolla contienen compuestos organosulfurados, como la alicina en el ajo y la cepaína en la cebolla. Estos compuestos pueden interferir con la formación de enlaces disulfuro en el gluten, que son cruciales para la estructura y elasticidad de la masa del pan. Los enlaces disulfuro se forman entre las moléculas de gliadina y glutenina, las proteínas del gluten, y son fundamentales para la red tridimensional que da soporte y estructura a la masa.

Estos resultados se deben al aumento en la concentración de fibra y la reducción de las proteínas de gluten como se ha observado anteriormente con el uso de otros subproductos (Báez et al., 2021). Esto podría deberse a que la cáscara de cebolla, al ser rica en fibra, puede afectar la estructura de la masa debido a su capacidad para interferir con la formación de la red de gluten. La fibra, al absorber agua, reduce la disponibilidad de esta para las proteínas del gluten, lo que puede debilitar la estructura de la masa. Además, la fibra puede actuar como una barrera física, impidiendo que las proteínas del gluten se unan correctamente, lo cual es esencial para la elasticidad y extensibilidad de la masa (Siddiqui et al., 2022; Gómez et al., 2003). Esto se ve reflejado en el estudio realizado por Siddiqui et al. que señala que la incorporación de fibras vegetales en productos panificados puede

mejorar su valor nutricional, pero también puede comprometer la estructura y calidad de la masa si no se ajusta adecuadamente la formulación y el proceso de elaboración (Siddiqui et al., 2022).

En base a estos resultados y con el fin de mejorar el aspecto visual de los panes se propuso realizar una nueva formulación en la cual se sustituye un 7 % de la harina de trigo por una mezcla de pulpa: cáscara de cebolla con una relación (70:30). Se obtuvo un pan con un aumento significativos del volumen con la sustitución de 7 % de cáscara de cebolla y con una miga con alveolos similares a los obtenidos para el pan control (Figura 9). Este comportamiento se podría relacionar con la composición química.

Estudios sobre el efecto de compuestos sulfurados en la masa de pan han mostrado que estos pueden inhibir o modificar la formación de enlaces disulfuro. Por ejemplo, la presencia de alicina en el ajo puede romper o impedir la formación de estos enlaces, afectando negativamente la cohesión y elasticidad de la masa (Borlinghaus et al., 2014; Joye et al., 2009). Dado que la cebolla contiene compuestos similares, es razonable suponer que estos pueden tener un efecto análogo (Lanzotti, 2006); Corzomartinez et al., 2007).

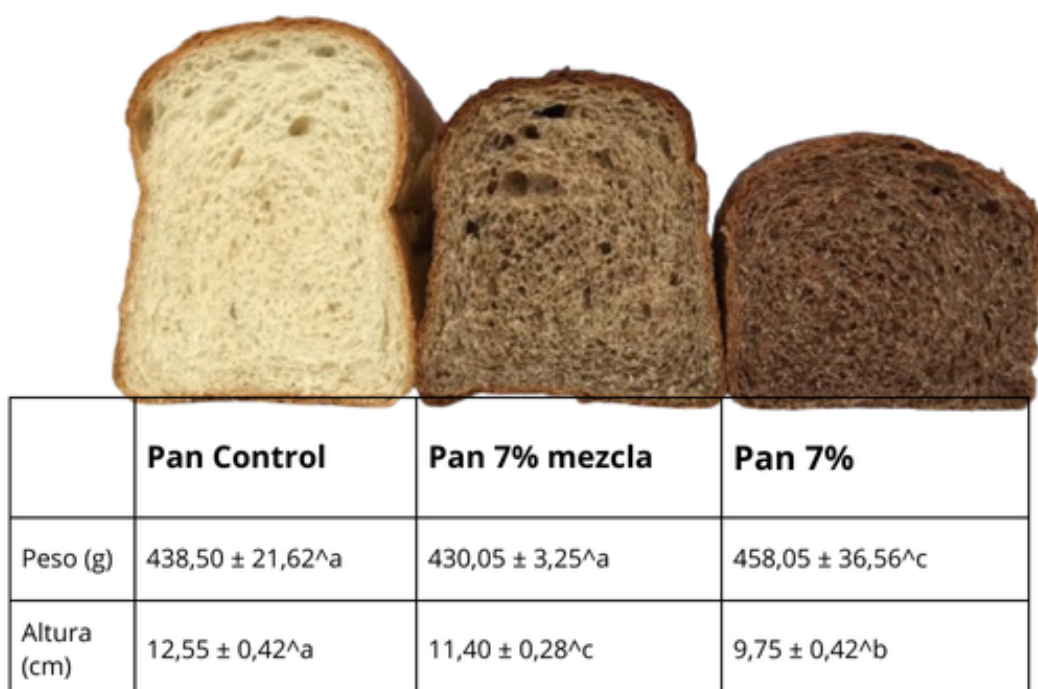


Figura 9: Foto tomada de un corte transversal de los panes control, 7 % cáscara y 7 % mezcla, con valores de peso y altura. Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$))

4.2.1. Composición proximal de los panes

Tabla 4: Composición proximal obtenidas para diferentes tipos de pan

	control	7 %	7 % mezcla	11 %	15 %
Humedad (%)	33,01 ± 1,16 ^a	39,72 ± 3,20 ^b	38,58 ± 0,86 ^b	44,29 ± 0,49 ^c	46,87 ± 0,66 ^d
Lípidos (%)	1,98 ± 0,10 ^a	1,83 ± 0,14 ^a	1,90 ± 0,16 ^a		
Proteínas (g)	7,12 ± 0,12 ^a	5,86 ± 0,09 ^b	7,47 ± 0,05 ^c	5,45 ± 0,05 ^d	5,22 ± 0,18 ^e
Fibra (%)	1,90	6,75 ± 0,59 ^a	4,48 ± 3,10 ^b		
Carbohidratos (%)	54,95± 1.17 ^a	50,65± 5.03 ^b	50,45± 0,94 ^b		
Carbohidratos asimilables (%)	53,05± 1.17 ^a	43,89± 5,07 ^b	45,96± 3,23 ^c		
Cenizas (%)	1,46 ± 0,07 ^a	1,94 ± 3,88 ^a	1,60 ± 0,25 ^a		
Fe (mg/g)	0,030	0,03294± 0.0025	0,03074± 0.00018	0,03462± 0.00040	0,03630± 0.0054
Ca (mg/g)	0,084	1,59± 0.15	0,47±0.11	2,45± 0.24	3,31± 0.33

Los resultados se expresan como valores promedio ± DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

Los resultados obtenidos de la composición de las cinco formulaciones de panes se presentan en la Tabla 4. Como puede observarse, se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad para las cuatro muestras con respecto al pan control, al aumentar el grado de sustitución aumenta el contenido de humedad de los panes. Este comportamiento, podría deberse al alto contenido de fibra que contiene la cáscara de cebolla mencionado anteriormente. Esta fibra, tiene una alta capacidad de absorción y retención de agua, lo que lleva a un mayor contenido de humedad en el producto final. En otros estudios donde también se utilizó polvo de cáscara de cebolla como ingrediente en la elaboración de panes, también se ha observado que a medida que aumenta el porcentaje de polvo de cáscara de cebolla, el contenido de humedad del pan final también se eleva significativamente (Ateeq et al., 2023) .

Con respecto al contenido de lípidos, no se observan diferencias significativas entre los panes, lo que indica que la incorporación de cáscara de cebolla no afecta este parámetro en el producto final. Esto puede explicarse por el bajo contenido lipídico de la cáscara de cebolla, como se muestra en la tabla 4, el cual resulta insuficiente para generar un cambio notable en el contenido total de lípidos del pan. Además, los ingredientes principales del pan (harina, agua, levadura y sal) aportan cantidades mínimas de lípidos. La mayor parte del contenido lipídico de los panes proviene de la harina y, en algunos casos, de ingredientes adicionales como aceites o grasas añadidas. Dado que estos ingredientes no fueron modificados en las diferentes formulaciones, y que la cáscara de cebolla presenta un bajo contenido de lípidos de era esperable que el contenido de lípidos no variara entre los panes.

Puede observarse que a medida que se aumenta el grado de sustitución de la harina de

trigo por la cáscara de cebolla, el contenido de proteínas de los panes disminuye significativamente. No es así en el caso del pan con mezcla de pulpa y cáscara, el cual presenta un contenido de proteínas similar al del pan control. La harina de trigo es naturalmente rica en proteínas, y al ser reemplazada por la cáscara de cebolla, que contiene un contenido proteico bastante menor, provoca una disminución en el contenido proteico total final en los panes a medida que la sustitución es mayor. La cáscara de cebolla, aunque rica en fibra y otros compuestos bioactivos, tiene un contenido proteico relativamente bajo en comparación con la harina de trigo y la pulpa de cebolla (Siddiqui et al., 2022). En el caso del pan formulado con la mezcla de pulpa y cáscara, no se observa el efecto mencionado anteriormente ya que la pulpa de cebolla seca, contiene un contenido de proteínas similar al de la harina de trigo (Benítez, 2011). La pulpa de cebolla contiene una mayor cantidad de proteínas que la cáscara debido a su composición interna, que incluye más nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta (Benítez, 2011). Esto explica por qué el pan con 7 % de mezcla tiene un contenido proteico similar o incluso ligeramente mayor que el pan control, ya que la adición de pulpa compensa la menor cantidad de proteínas en la cáscara.

El contenido de carbohidratos (determinado en el pan control y los panes con 7 % de sustitución debido a las características poco favorables que presentaban los panes con un mayor porcentaje de sustitución), disminuye significativamente con respecto al control. El contenido de carbohidratos asimilables también se ve reducido en los panes 7 % y 7 % mezcla con respecto al control, siendo el pan con cáscara de cebolla, el que presenta un menor valor. Esto sugiere que la cáscara de cebolla, al ser rica en fibra, disminuye la cantidad de carbohidratos disponibles para la absorción debido a su alta capacidad de retención de agua y su efecto en la digestión y absorción de carbohidratos. La mezcla de cáscara y pulpa de cebolla puede afectar la digestibilidad de los carbohidratos, aunque el contenido de carbohidratos asimilables sigue siendo menor que en el pan control. La fibra presente en la cáscara de cebolla puede tener un efecto positivo en la salud ya que no solo disminuye el contenido total de carbohidratos asimilables, sino que también puede ralentizar la digestión y absorción de carbohidratos, lo que podría resultar en un índice glucémico más bajo (S. Y. Kim et al., 2011).

En cuanto a la fibra, la adición de cáscara de cebolla en la formulación de los panes, provoca un aumento significativo en el contenido de fibra, y por consiguiente en el contenido de humedad del producto final como se mencionó anteriormente.

El pan elaborado con la mezcla de cáscara y pulpa de cebolla resulta en un contenido de fibra menor que en el pan con 7 % de cáscara, algo que es de esperarse ya que la pulpa de cebolla tiene un menor contenido de fibra en comparación con la cáscara (Benítez, 2011). En cuanto a la composición, la cáscara de cebolla contiene una mayor proporción de fibra insoluble que ayuda a retener humedad y también mejora la textura y la sensación en boca del producto final (Siddiqui et al., 2022). La fibra soluble presente en la pulpa de cebolla también puede contribuir a la retención de humedad, pero en menor grado que la

fibra insoluble de la cáscara, contribuyendo a una adecuada formación de la red de gluten (Jaime et al., 2002)

Estos panes, enriquecidos con fibra, no solo mejoran el valor nutricional del producto, sino que también contribuyen a la salud digestiva. La fibra dietética, particularmente la fibra insoluble presente en la cáscara de cebolla promueve el tránsito intestinal, previene el estreñimiento y contribuye a la salud del colon (Almeida-Alvarado et al., 2014). Además, la fibra soluble, aunque presente en menor cantidad, tiene la capacidad de ralentizar la digestión, lo que puede ayudar a controlar los niveles de glucosa en sangre y mejorar la absorción de nutrientes (Soliman, 2019) .

Un aspecto interesante al elaborar productos alimenticios es la alegación nutricional final que estos puedan contener. En el caso de la fibra, el “Reglamento Bromatológico Nacional (RBN 2012), Decreto No 315/994”, 1994 y la Resolución GMC N° 01/12 “Decreto”, 2012, establecen que un alimento se considera fuente de fibra dietética si contiene al menos 3 gramos de fibra por 100 gramos en platos preparados o 2,5 gramos por porción. Se considera de alto contenido de fibra si contiene al menos 6 gramos de fibra por 100 gramos en platos preparados o 5 gramos por porción. Con respecto a lo expresado anteriormente, ambos panes con 7 % de sustitución (cáscara o mezcla pulpa/cáscara), pueden ser considerados fuente de fibra, lo cual representaría un valor agregado al producto en caso de salir al mercado, ya que las alegaciones nutricionales en los paquetes tienden a influir de manera positiva en la decisión de compra de los clientes ya que estos son percibidos como más saludables (Neale y Tapsell, 2022).

Por último, el contenido de cenizas también fue determinado únicamente sobre el pan control y los panes con 7 % de sustitución por las razones anteriormente mencionadas. Puede observarse que de los panes con sustitución presentaron un aumento significativo en el valor de cenizas respecto al control, indicando un mayor contenido de minerales. Esto se debe a que los vegetales ricos en fibra, como la cáscara de cebolla, muchas veces contienen un alto contenido y una gran variedad de minerales de baja movilidad (Shovon et al., 2013) . La diferencia aunque no sea significativa entre los panes con 7 % de sustitución es esperable, ya que en el trabajo de Benítez, 2011 se observa un claro descenso de las cenizas desde las partes externas hacia el interior del bulbo. En estudios realizados se ha encontrado que la fibra que forma parte de la matriz celular de los vegetales, ayuda a retener esos minerales, lo que al momento de elaborar un alimento, permite su transferencia completa al producto final durante la molienda y el procesamiento (Siddiqui et al., 2022; Winiarska-Mieczan y Kwiecień, 2011).

En cuanto a la determinación de contenido de hierro y calcio en el pan control, ésta fue realizada mediante el cálculo teórico del contenido de estos minerales a partir de los componentes del mismo y de referencias bibliográficas (“Decreto N 130/006”, 2026; Winiarska-Mieczan y Kwiecień, 2011). A partir de estos valores, y teniendo en cuenta el contenido de hierro y calcio obtenidos en el presente trabajo para la cáscara y la pulpa de cebolla (Tablas 2 y 3) se calculó teóricamente el contenido de estos minerales en los

panes elaborados con 7 % de sustitución.

Los resultados obtenidos muestran una variación significativa en el contenido de calcio entre los panes con respecto al control aumentando con el agregado de subproducto, pero presentando un valor mayor el pan con 7 % cáscara. En el caso del hierro, no se observaron diferencias entre las formulaciones.

La notable diferencia en el contenido de calcio entre los panes sugiere que la cáscara de cebolla puede ser considerada una excelente fuente de calcio, aumentando considerablemente el contenido de este mineral en los productos panificados. Esto es consistente con estudios que han mostrado que la cáscara de cebolla es rica en calcio (Pareek et al., 2017) lo cual mejora el valor nutricional del producto final (Benítez, 2011).

Para evaluar si estos panes pueden ser considerados fuente o altos en contenidos de estos minerales se tomó en cuenta el “Reglamento - 1169/2011 - EN - Reglamento IAC - EUR-Lex”, 2018 y el “Reglamento Bromatológico Nacional (RBN 2012), Decreto No 315/994”, 1994, que establecen las siguientes ingestas diarias recomendadas (IDR): 800 mg/día de calcio según la normativa de la UE y 1000 mg/día según el RBN de Uruguay; y 14 mg/día de hierro para ambas normativas.

Un alimento es fuente de calcio si contiene al menos el 15 % de la IDR por 100 gramos o por porción, lo que equivale a 120 mg/100g (UE) o 150 mg/100g (RBN). Un alimento tiene alto contenido de calcio si contiene al menos el 30 % de la IDR por 100 gramos o por porción, lo que equivale a 240 mg/100g (UE) o 300 mg/100g (RBN).

En el caso del hierro, un alimento es fuente de hierro si contiene al menos el 15 % de la IDR por 100 gramos o por porción, lo que equivale a 2.1 mg/100 (RBN, UE) y un alimento tiene alto contenido de hierro si contiene al menos el 30 % de la IDR por 100 gramos o por porción, lo que equivale a 4.2 mg/100g (RBN, UE).

En términos de calcio, los panes con 7 % cáscara, supera el nivel para ser considerado fuente de calcio (120 mg/100g o 150 mg/100g). Sin embargo, para el hierro, aunque los niveles son incrementados significativamente, ninguno de los panes alcanza el nivel para ser considerado fuente ni alto contenido de hierro.

Por lo visto la adición de cáscara de cebolla mejora significativamente el contenido de calcio y en los panes, mejorando su perfil nutricional. Aunque los niveles de hierro no son suficientes para considerar estos panes como fuente o alto contenido de hierro según las normativas mencionadas, la incorporación de cáscara de cebolla podría contribuir a mejorar la ingesta diaria de estos minerales.

4.2.2. Propiedades biactivas de los panes

El análisis de las propiedades bioactivas se realizó al pan control y a los panes con 7 %, 11 % y 15 % de sustitución de harina de trigo por cáscara de cebolla, así como al pan con 7 % de sustitución de harina de trigo por la mezcla de pulpa/cáscara de cebolla. Se determinaron el contenido de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, inhibición de los radicales ABTS mediante el método de ABTS. Otra de las propiedades que se evaluó fue la actividad antiglicante mediante los métodos Cuantificación de 5-HMF mediante Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) y de Medición de compuestos fluorescentes avanzados para detectar AGEs. En este caso, fueron evaluadas las masas de los panes control y sustitución 7 % cáscara y 7 % mezcla.

Contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante

En la tabla 5 se observa la concentración de compuestos fenólicos obtenida para los diferentes panes. Como puede observarse, existe una tendencia a que, a medida que aumenta el grado de sustitución, también lo hace la concentración de polifenoles en las muestras, llegando a valores desde 3,5 a 4 veces mayores que el pan control. Este incremento era de esperarse debido a la composición antes mencionada de la cáscara de cebolla, la cual presenta un alto contenido de polifenoles (112,9mg GAE/gms), que generan un incremento significativo de los mismos en el producto final.

Tabla 5: Concentración de Fenoles de diferentes los tipos de pan por el metodo de Folin

Tipo de pan	Concentración de Fenoles (mg GA/g muestra)
Pan control	0,348 ± 0,003 ^a
Pan 7 % mezcla	1,22 ± 0,11 ^b
Pan 7 %	1,24 ± 0,09 ^{bc}
Pan 11 %	1,31 ± 0,09 ^b
Pan 15 %	1,42 ± 0,08 ^d

Los resultados se expresan como valores promedio ± DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre columna indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$).

Estos resultados son comparables con los estudios de Ateeq et al., 2023, quienes obtuvieron un aumento de dos a tres veces más con una sustitución del 3 % de polvo de cáscara de cebolla. Además, en el caso de un estudio de base de pizza enriquecida con polvo de cáscara de cebolla realizado por Sagar y Pareek, 2020a, se observó un aumento en las concentraciones de compuestos fenólicos a medida que aumentaba la cantidad de enriquecimiento con el polvo, obteniendo una mayor concentración de compuestos fenólicos con un mayor grado de enriquecimiento.

Se destaca que no se observan diferencias significativas entre los panes de 7 % cáscara y 7 % mezcla. Esto podría deberse a los diferentes compuestos fenólicos presentes en cada matriz, algunos de los cuales podrían llegar a ser más sensibles al proceso de cocción. Otro motivo podría ser que la diferencia entre el contenido de cáscara de cebolla entre estos dos panes, no representa una disminución en el contenido de compuestos fenólicos en el producto final.

Tabla 6: Actividad antioxidante de los diferentes tipos de pan por ABTS

Tipo de pan	Actividad antioxidante ($\mu\text{moles TE/ g ms}$)
Pan control	$3,50 \pm 0,56^a$
Pan 7 % mezcla	$7,00 \pm 0,18^b$
Pan 7 %	$7,63 \pm 0,28^c$
Pan 11 %	$7,70 \pm 0,10^{cd}$
Pan 15 %	$8,04 \pm 0,48^{cd}$
Pan 15 % cáscara + gluten	$8,21 \pm 0,20^d$

Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre columna indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

Con respecto a la capacidad de inhibición de los radicales ABTS, puede observarse una relación directa entre el contenido total de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. En la tabla 6 se evidencia que la tendencia obtenida para los compuestos fenólicos se reflejan además en la actividad antioxidante. Es destacable el valor significativamente mayor de actividad antioxidante del pan 7 % cáscara con respecto al pan 7 % mezcla, esta diferencia podría atribuirse a que la cáscara es más rica en quercetina que la pulpa de cebolla. Por otro lado, estudios mencionan que la cáscara de cebolla es rica en benzofuranona (BZF), la cual no se encuentra en la pulpa de cebolla. La BZF, es un compuesto producto de la oxidación de la quercetina y es conocido por su gran poder antioxidante (Speisky et al., 2023)

Actividad antiglicante

En la tabla 7 se muestran los resultados de actividad antiglicante obtenidos para las distintas muestras. Como puede observarse, antes de la cocción, las concentraciones de HMF obtenidas para las masas de los tres panes no presentan diferencias significativas entre sí. Después de la cocción, estos valores aumentan en todos los casos, pero se evidencia un aumento aun mayor en el caso del pan 7 % mezcla. Esto podría atribuirse a que la pulpa de cebolla tiene una mayor concentración de aminoácidos y azúcares que la cáscara, siendo estos dos últimos, precursores de la reacción de Maillard, lo que resulta en una

mayor formación de HMF en el producto final (Capuano y Fogliano, 2011; Shapla et al., 2018).

En cuanto a los compuestos fluorescentes, antes de la cocción no se observan diferencias significativas entre el pan control y el pan con 7 % de cáscara, mientras que la masa del pan con 7 % de mezcla presenta un valor significativamente mayor. Tras la cocción, se observa un aumento significativo en las tres muestras, manteniéndose la tendencia inicial observada en las masas. Esto es consistente con estudios que indican que los azúcares libres y ciertos aminoácidos, como los presentes en la pulpa, tienden a incrementar la producción de productos intermedios de la reacción de Maillard bajo condiciones de horneado (Shapla et al., 2018).

Varios estudios han demostrado una relación entre la inhibición de la glicación y la presencia de compuestos fenólicos. Ramkissoo et al., 2013 hallaron que la actividad antiglicante en extractos de plantas, como en la cebolla, incrementa con mayores concentraciones de flavonoides. La quercetina, un importante compuesto fenólico en la cáscara de cebolla, también muestra una notable capacidad de inhibir la reacción de glicación, como evidenciado en el estudio de X. Li et al., 2014. Asimismo, investigaciones indican que los compuestos fenólicos pueden interferir con la formación de HMF y otros productos de la reacción de Maillard (Lorenzo, 2018).

Por lo tanto, los resultados obtenidos en nuestro estudio son coherentes con la literatura, ya que el pan con 7 % de cáscara de cebolla mostró menores niveles de compuestos fluorescentes y HMF. Esto se debe, en parte, a la correlación entre el contenido de compuestos fenólicos y la inhibición de las reacciones de glicación, como lo han evidenciado estudios previos.

Tabla 7: Determinación de compuestos fluorescentes (ESQ $\mu\text{g/g}$ muestra) y concentración de HMF (mgHMF/g muestra)

Muestra	ESQ ($\mu\text{g/g}$ muestra)	mg HMF/g muestra
masa control	$0,95 \pm 0,12^d$	$0,01678 \pm 0,00077^a$
masa 7 % mezcla	$2,47 \pm 0,37^c$	$0,01735 \pm 0,00031^a$
masa 7 % cáscara	$1,39 \pm 0,19^d$	$0,01796 \pm 0,00080^a$
pan control	$6,23 \pm 0,77^b$	$0,01931 \pm 0,00063^b$
pan 7 % mezcla	$15,62 \pm 1,38^a$	$0,02142 \pm 0,00108^c$
pan 7 % cáscara	$5,77 \pm 0,45^b$	$0,01927 \pm 0,00044^b$

Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE ($n=3$). Letras en superíndice diferentes entre columna indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

4.2.3. Propiedades fisicoquímicas

Determinación de pH

La incorporación de cáscara y pulpa de cebolla en la elaboración del pan influyó en cambios en el pH. El pan con incorporación de 7 % de cáscara presentó una disminución significativa del pH frente al pan control y al pan elaborado con pulpa y cáscara Tabla 8. Esta disminución de pH puede estar atribuido a la presencia de compuestos ácidos, como ácidos fenólicos, que se encuentran en la cáscara. El pH es un parámetro que se debe controlar durante el proceso de elaboración de panes pues afecta el comportamiento de las levaduras, la actividad de la levadura es óptima en un rango de pH neutro a ligeramente ácido (aproximadamente entre 4.5 y 6.5). Cuando el pH cae por debajo de este rango, la actividad de la levadura puede disminuir, afectando la producción de dióxido de carbono y, por ende, el crecimiento y la textura del pan (Walker y Stewart, 2016).

Tabla 8: Comparación de los valores de pH obtenidos para masa con diferentes grados de sustitución.

Grado de sustitución	pH pan
0 %	5,62 $\pm$ 0,10 ^a
7 %	4,59 $\pm$ 0,26 ^b
7 % mezcla	5,02 $\pm$ 0,04 ^c

Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre columna indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$).

Análisis de color de la masa y los panes

Se observaron cambios significativos en la coloración de la masa y el pan debido a la incorporación de cáscara de cebolla (ver Figura 8 y 9). Del análisis del espacio cieLab, se encontró que el uso de polvo de cáscara de cebolla provoca una disminución significativa ($p < 0,05$) en la luminosidad (L^*) en comparación con la mezcla de cáscara y pulpa de cebolla. También se registró un aumento significativo en el parámetro a^* , relacionado con tonalidades de rojo y verde, lo que indica una tendencia hacia matices marrón-rojizos. Este resultado sugiere que la adición de cáscara de cebolla afecta la claridad y la luminosidad de la masa y el pan. Este cambio en la coloración de la masa podría atribuirse a la presencia de pigmentos naturales en la cáscara de cebolla, como antocianinas o flavonoides, como quercetina y el kaempferol, resultados obtenidos en la tabla 5 que se aprecia que a mayor porcentaje de cáscara mayor contenido de fenoles y menor L y mayor a^* . Esto es consistente con los estudios de Sagar et al., 2020 y Zhang et al., 2014, donde se observa que una coloración más oscura o rojo oscuro está relacionada con la presencia de

quercetina, flavonoides y polifenoles. Es importante señalar que estas diferencias en los parámetros $L^*a^*b^*$ son evidentes desde la etapa de preparación de la masa (Tabla 10), y las variaciones entre las masas y el pan podrían estar vinculadas a las reacciones de Maillard que favorece la formación de coloraciones pardas, rojizas y marrones mayor a^* .

Tabla 9: Color de los diferentes tipos de pan

Color pan	control	7 %	7 % mezcla	11 %	15 %
L	77,71 $\pm$ 5,34 ^a	51,67 $\pm$ 1,67 ^b	59,07 $\pm$ 1,44 ^c	51,32 $\pm$ 1,15 ^b	48,45 $\pm$ 1,06 ^d
a*	3,66 $\pm$ 0,29 ^a	8,15 $\pm$ 0,81 ^b	5,59 $\pm$ 0,70 ^c	9,38 $\pm$ 0,49 ^d	10,39 $\pm$ 0,48 ^e
b*	18,98 $\pm$ 1,96 ^a	13,12 $\pm$ 0,89 ^b	16,06 $\pm$ 0,98 ^c	13,23 $\pm$ 1,00 ^b	11,89 $\pm$ 0,98 ^d

Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

Tabla 10: Color de las diferentes masas

Color masa	Masa control	Masa 7 %	Masa 7 % mezcla
L	75,84 $\pm$ 0,95 ^a	55,59 $\pm$ 2,99 ^a	63,64 $\pm$ 3,61 ^a
a*	0,54 $\pm$ 0,10 ^b	10,07 $\pm$ 0,30 ^b	6,30 $\pm$ 2,16 ^b
b*	12,49 $\pm$ 0,10 ^c	12,30 $\pm$ 1,56 ^c	14,89 $\pm$ 1,20 ^b

Los resultados se expresan como valores promedio $\pm$ DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$)).

Textura de los panes

Se compararon los parámetros de textura entre panes con adición de cáscara de cebolla y mezcla de pulpa y cáscara con el pan control. En cuanto a la cohesión, se observó una tendencia decreciente en las muestras: pan 7% > pan 7% mezcla > pan control. Aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas, sugieren que la adición de cáscara de cebolla, ya sea sola o en mezcla, podría afectar la cohesión de la masa, con una disminución en comparación con el pan control. La dureza y la masticabilidad aumentaron en el siguiente orden: pan control < pan 7% mezcla < pan 7% cáscara. Este resultado indica que las concentraciones más altas de cáscara de cebolla pueden llevar a una mayor dureza, posiblemente debido a su contenido de fibra. La resiliencia mostró un aumento para el pan con mezcla, mientras que se observó una disminución

en el caso del pan con solo cáscara. Aunque estas variaciones no son estadísticamente significativas, indican que la mezcla podría tener un impacto positivo en la capacidad de recuperación de la masa, mientras que la cáscara sola podría afectarla negativamente. De acuerdo con los resultados presentes en la tabla de análisis de textura, se evidencia que las muestras de pan con un mayor contenido de cáscara de cebolla exhibieron una mayor dureza. Este hallazgo guarda similitud con un estudio llevado a cabo por Michalak-Majewska et al., 2016, el cual reveló que el panecillo fortificado con un 5 % de polvo de cebolla presentó una mejora en su dureza cuando se utilizó cebolla en polvo. Además, se observó un incremento notable en la masticabilidad del panecillo enriquecido con cebolla en polvo, siendo la muestra combinada la que mostró el mayor aumento en comparación con la cáscara sola y la muestra de control. Al examinar la cohesión, se aprecia una tendencia similar. Este fenómeno se correlaciona con los hallazgos de Rubel et al., 2015, quienes informaron resultados análogos en el pan enriquecido con inulina. Del mismo modo, estudios conducidos por Lin y Zhou, 2018 sobre el pan fortificado con quercetina revelaron una tendencia consistente en parámetros como la dureza, elasticidad, cohesión y resistencia.

A partir de estos resultados, se destaca que la ausencia de diferencias significativas en las propiedades de textura entre los panes desarrollados y el pan control es un indicador positivo. Esto sugiere que, al no detectarse cambios significativos en estos parámetros, los nuevos productos tienen un potencial favorable para su aceptación sensorial y comercialización futura.

Tabla 11: Propiedades texturales de diferentes tipos de pan

	Hardness (Dureza)	Resilience (Resiliencia)	Cohesiveness (Cohesividad)	Springiness (Elasticidad)	Chewiness (Masticabilidad)
Pan control	27,05 ± 4,44 ^a	25,01 ± 2,35 ^a	0,62 ± 0,07 ^a	94,94 ± 6,81 ^a	1367,94 ± 61,51 ^a
Pan 7 % mezcla	27,93 ± 5,83 ^a	26,61 ± 2,07 ^b	0,60 ± 0,02 ^a	93,86 ± 1,30 ^a	1615,56 ± 284,48 ^a
Pan 7 %	29,85 ± 4,26 ^a	27,49 ± 4,41 ^b	0,57 ± 0,05 ^a	92,21 ± 3,03 ^a	1557,18 ± 61,58 ^a

Los resultados se expresan como valores promedio ± DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre filas indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey, ($p < 0,05$).

Compuestos volátiles presentes en los panes

En el análisis de compuestos volátiles mediante HPLC, se realizó mediante la técnica de microextracción en fase sólida (SPME) y la posterior inyección de las extracciones en el GC-MS para identificar y cuantificar los compuestos volátiles presentes en las formulaciones de los panes control, 7 % cáscara y 7 % mezcla. La identificación se realizó comparando los tiempos de retención con una biblioteca de datos, y la cuantificación se basó en las áreas de los picos obtenidos con el estándar interno utilizado.

En la tabla 12 se presentan los compuestos obtenidos y se observan la presencia de alcoholes, ésteres, terpenos y ácidos en las tres formulaciones de panes, mientras que en

el pan con agregado de cebolla (cáscara y mezcla) además de las presencias de los compuestos anteriormente mencionados, se detectaron compuestos azufrados y la presencia de Hidroximetilfurfural (HMF).

Se observó la presencia de algunos compuestos en los panes que tienen agregado de cebolla, como dipropil disulfuro, ácido octanoico, 1-hexanol, furfural, nonanal y benzaldehído, resultados que coinciden con los obtenidos en Cozzolino et al., 2021, quienes también identificaron perfiles de compuestos volátiles similares en sus análisis de cebollas italianas.

El pan mezcla presentó mayor cantidad de compuestos azufrados, lo que podría deberse a que la capa externa marrón de la cebolla no presenta grados de pungencia tan altos como el bulbo entero de la cebolla. El sabor está determinado en gran medida por los compuestos azufrados en combinación con los azúcares de la cebolla. Por ejemplo, una variedad muy pungente puede deberse a que posea alto contenido de tiosulfinatos o bien que posea contenido medio de tiosulfinatos y pocos azúcares, ya que los azúcares pueden disminuir la sensación de pungencia, dependiendo de su naturaleza y la concentración relativa (J. Lancaster y Boland, 1990; Randle y Bussard, 1993). Debido a estos resultados, es ampliamente aceptado que cebollas pungentes poseen mayor contenido de piruvato y compuestos sulfurados. La presencia de compuestos azufrados está relacionada con la alta cantidad de estos que hay en la cebolla, siendo los responsables de su aroma fuerte y penetrante (Benítez, 2011). Algunos compuestos azufrados se ubican físicamente en el citoplasma de las células del mesófilo, separados de la enzima allinasa, que se ubica en la vacuola (J. E. Lancaster y Collin, 1981). Cuando se produce ruptura del tejido, los S-alquenil-L-sulfóxidos de cisteína son hidrolizados por la enzima allinasa, dando origen a ácido pirúvico, amonio y compuestos sulfurados responsables de la pungencia (J. Lancaster y Boland, 1990; Hamilton et al., 1997).

Se observó que, al finalizar la cocción de los panes, el de 7 % mezcla presentaba un aroma y sabor más intenso que los de cáscara. Esto podría estar relacionado no solo con la mayor presencia de compuestos azufrados, sino también con la sinergia entre los compuestos volátiles y los compuestos fenólicos presentes en la cáscara y la pulpa de cebolla. La interacción entre estos compuestos puede potenciar las características sensoriales del pan, como se ha demostrado en estudios previos donde los compuestos fenólicos pueden influir en el perfil de compuestos volátiles (Ateeq et al., 2023).

La incorporación de cáscara y pulpa de cebolla en el pan modifica significativamente la concentración de compuestos volátiles. Por ejemplo, el 2-methyl-propanol, el limoneno y el 3-methyl-1-butanol se encuentran en concentraciones significativamente menores en los panes con cáscara de cebolla en comparación con el pan control. Esto sugiere que la cáscara de cebolla puede influir en la reducción de estos compuestos volátiles, posiblemente debido a la interacción con los compuestos fenólicos presentes en la cáscara (Cozzolino et al., 2021).

Sin embargo, a diferencia de lo encontrado por Cozzolino et al., 2021 en cebollas italianas,

donde los compuestos como furfural y benzaldehído son predominantes en los productos enriquecidos con cebolla, en este estudio se observó que estos compuestos están presentes en mayor cantidad en el pan control en comparación con los panes con cáscara de cebolla. Esto podría deberse a diferentes factores, como la variedad de cebolla utilizada, las condiciones de procesamiento o la interacción específica entre los compuestos volátiles y otros componentes del pan.

Comparando con otros estudios, como el de Sagar et al., 2020, se observó que la adición de cáscara de cebolla en productos horneados no solo aumenta los compuestos fenólicos, sino que también puede alterar significativamente el perfil de compuestos volátiles. Esto es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, donde la cáscara de cebolla no solo mejora el perfil antioxidante del pan sino que también modifica los compuestos volátiles responsables del aroma y el sabor. La disminución de la concentración de ciertos compuestos volátiles como el phenethyl alcohol en los panes con cáscara de cebolla sugiere que la cáscara de cebolla puede tener un efecto inhibitorio sobre la producción de estos compuestos. Esto está en línea con estudios que han demostrado que los compuestos fenólicos pueden influir en la formación y estabilidad de los compuestos volátiles en productos horneados (Prokopov et al., 2018).

Los compuestos volátiles y los compuestos fenólicos están estrechamente relacionados, ya que los fenoles pueden actuar como precursores de algunos compuestos volátiles o pueden interactuar con ellos, alterando su volatilidad y estabilidad. En los panes enriquecidos con cáscara de cebolla, la mayor concentración de compuestos fenólicos probablemente contribuye a una mayor capacidad antioxidante y a cambios en el perfil de compuestos volátiles. Esto es consistente con estudios previos que han demostrado que los compuestos fenólicos pueden influir en la formación y estabilidad de los compuestos volátiles en productos horneados (Sagar et al., 2020; Ateeq et al., 2023).

Desarrollo de panificados funcionales a partir de un subproducto de la industria Hortofrutícola

Tabla 12: Concentración de compuestos volátiles en diferentes tipos de pan (mg/10g)

T. de retención	Compuesto	Concentración (mg/10g de pan control)	Concentración (mg/10g de pan cáscara)	Concentración (mg/10g de pan MEZCLA)
Alcoholes				
5.067	2-methyl-propanol		1,41 ± 0,20 ^a	1,12 ± 0,04 ^b
10.166	3-Methyl-1-butanol	52,32 ± 28,91 ^a	19,93 ± 4,63 ^b	18,79 ± 2,65 ^b
17.706	1-Hexanol	7,57 ± 3,62 ^a	2,11 ± 0,21 ^b	1,29 ± 0,13 ^b
25.461	2,3-BUTANDIOL	9,12 ± 5,84 ^a	0,84 ± 0,20 ^b	1,48 ± 0,78 ^b
14.091	2-octanol		0,58 ± 0,40 ^a	
21.054	2-Octanol	67,01 ± 48,66 ^a	38,71 ± 8,55 ^a	45,34 ± 15,68 ^a
22.431	HEPTANOL	13,97 ± 0,00 ^a	13,97 ± 0,00 ^a	13,97 ± 0,00 ^a
30.410	ALCOHOL FURFUROL	5,98 ± 3,58 ^a	1,21 ± 0,35 ^b	1,57 ± 1,15 ^b
31.644	3-Nonyn-2-ol	3,77 ± 3,65 ^a	0,59 ± 0,26 ^b	0,78 ± 0,59 ^b
38.926	Phenethyl alcohol	34,27 ± 19,15 ^a	4,33 ± 0,67 ^c	3,17 ± 2,69 ^c
Esteres				
21.766	Octanoic acid, ethyl ester	7,09 ± 4,30 ^a	1,17 ± 0,54 ^b	1,45 ± 0,78 ^b
34.583	Thiazolidin-4-one, 5-ethyl-2-imino			1,75 ± 1,38 ^a
35.767	Phenylethyl acetate	3,16 ± 3,96 ^a	0,82 ± 0,06 ^a	0,52 ± 0,34 ^a
49.669	3,5-DIHYDROXY-2-METHYL-5,6-DIHYDROPYRAN-4-ONE			0,83 ± 0,83 ^a
Terpenos				
9.206	Limonene	7,37 ± 3,64 ^a	1,37 ± 1,20 ^a	0,74 ± 0,20 ^a
Ácidos				
27.919	Isobutyric acid			0,84 ± 0,53 ^a
31.710	2-Cyclopentene-1-undecanoic acid		0,76 ± 0,60 ^a	
38.018	Hexanoic acid	6,51 ± 6,71 ^a	1,36 ± 1,58 ^b	1,11 ± 0,71 ^b
45.665	Octanoic acid			0,46 ± 0,56 ^a
Compuestos azufrados				
37.739	2-Propanol, 1-(propylthio)-		1,47 ± 0,64 ^a	2,76 ± 1,93 ^b
33.658	1-Propene-1-thiol		0,34 ± 0,26 ^a	0,65 ± 0,19 ^b
18.292	Disulfide, dipropyl			0,12 ± 0,12 ^a
30.875	2-Hydroxyethyl propyl sulfide		0,33 ± 0,20 ^a	0,88 ± 0,97 ^b
Otros compuestos				
13.291	Acetoin	11,80 ± 3,28 ^a	2,31 ± 0,54 ^a	6,50 ± 5,53 ^a
19.508	Nonanal	6,52 ± 5,53 ^a	4,29 ± 0,94 ^{ab}	1,83 ± 0,95 ^b
24.229	Benzaldehyde	22,86 ± 22,59 ^a	1,81 ± 0,44 ^b	1,77 ± 0,79 ^b
11.500	2-Amylfuran		1,76 ± 0,61 ^a	1,24 ± 1,54 ^a
14.392	Octylal		0,23 ± 0,03 ^a	
20.782	Tetradecane		1,88 ± 1,09 ^a	
22.228	Furfural	3,08 ± 2,30 ^{ab}	1,68 ± 0,39 ^a	1,44 ± 0,33 ^b
25.338	2-Nonenal	3,17 ± 2,27 ^a	0,66 ± 0,38 ^b	
26.515	5-Methyl-2-furfural		1,15 ± 0,15 ^a	1,92 ± 1,31 ^a
29.205	Benzeneacetaldehyde			0,41 ± 0,51 ^a
40.780	Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-			0,21 ± 0,21 ^a
41.984	3,4,8-TRIMETHYL-2-NONENAL		1,26 ± 0,53 ^a	
45.131	2-Isononenal		0,50 ± 0,03 ^a	
56.226	2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-		0,56 ± 0,11 ^a	0,76 ± 0,40 ^a

Los resultados se expresan como valores promedio ± DE (n=3). Letras en superíndice diferentes entre columna indican diferencias significativas (análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey ($p < 0,05$)).

5. Conclusiones

El trabajo desarrollado ha permitido evaluar el potencial de la cáscara de cebolla como ingrediente funcional en la elaboración de productos panificados. Los resultados obtenidos destacan varios aspectos clave que justifican la incorporación de este subproducto en alimentos. La cáscara de cebolla presenta un potencial uso como ingrediente funcional por su alto contenido de compuestos polifenólicos, fibra y minerales como calcio y hierro. También posee grandes propiedades antioxidantes y antiglicantes.

En cuanto a la inclusión de cáscara de cebolla en la formulación de panes, no solo incrementa el contenido de fibra y minerales, llegando en algunos casos a ser fuentes o de alto contenido de los mismos, sino que también mejora las propiedades antioxidantes del producto final. Los panes con adición de cáscara y mezcla de cebolla presentaron mayor actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos, lo cual se traduce en beneficios adicionales para la salud del consumidor. Se observó un aumento de la actividad antioxidante y una disminución en la formación de 5-HMF y compuestos fluorescentes perjudiciales para la salud.

El pan es un alimento básico ampliamente consumido y de fácil acceso, lo que lo convierte en un vehículo ideal para la incorporación de ingredientes funcionales, permitiendo un acceso más masivo a alimentos saludables y contribuyendo a la mejora de la salud de las poblaciones. El uso de este subproducto industrial también aportaría a la economía circular, siendo un ejemplo de sistemas alimentarios sostenibles.

6. Bibliografía

Referencias

- Akinwande, B., & Olatunde, S. (2015). Comparative evaluation of the mineral profile and other selected components of onion and garlic. *International Food Research Journal*, 22, 332-336. https://www.researchgate.net/publication/281738681_Comparative_evaluation_of_the_mineral_profile_and_other_selected_components_of_onion_and_garlic
- Albishi, T., John, J. A., Al-Khalifa, A. S., & Shahidi, F. (2013). Antioxidative phenolic constituents of skins of onion varieties and their activities. *Journal of Functional Foods*, 5, 1191-1203. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.04.002>
- Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López, T., & Hervert-Hernández, D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27, 73-76. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522014000100011
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis Jr, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67, 188-205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Antezana, A. P. R., Vizaluque, B. E., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTI-OXIDANTE TOTAL, FENOLES TOTALES, Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN UNA BEBIDA NO LÁCTEA EN BASE A GRANOS DE CHENOPODIUM QUINOA. *Revista Boliviana de Química*, 35, 168-176. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213006/html/>
- Arone Palomino, H. D. (2015). Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (chenopodium quinua willd) y chia (salvia hispanica l.). *Unajma.edu.pe*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14168/210>
- Ateeq, H., Ahmad, R. S., Imran, M., Afzaal, M., & Shah, M. A. (2023). Valorization and structural characterization of onion peel powder for the development of functional bread. *International journal of food properties*, 26, 2553-2562. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2250573>
- Báez, J., Fernández-Fernández, A., Briozzo, F., Díaz, S., Dorgans, A., Tajam, V., & Medrano, A. (2021). Effect of Enzymatic Hydrolysis of Brewer's Spent Grain on Bioactivity, Techno-Functional Properties, and Nutritional Value When Added to a Bread Formulation. <https://doi.org/10.3390/foods2021-11024>
- Bahram-Parvar, M., & Lim, L.-T. (2018). Fresh-Cut Onion: A Review on Processing, Health Benefits, and Shelf-Life. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17, 290-308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12331>

- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99, 191-203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F. H., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12, 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Bengmark, S., & Gil, A. (2007). Productos finales de la glicación y de la lipoxidación como amplificadores de la inflamación: papel de los alimentos. *Nutrición Hospitalaria*, 22, 625-640. Consultado el 22 de mayo de 2023, desde https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112007000800001
- Benítez, V. (2011). Caracterización de subproductos de cebolla como fuente de fibra alimentaria y otros compuestos bioactivos-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID FACULTAD DE CIENCIAS. Madrid, España. Consultado el 15 de noviembre de 2024, desde https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/7754/43026_benitez_garcia_vanesa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Boots, A. W., Haenen, G. R. M. M., & Bast, A. (2008). Health effects of quercetin: from antioxidant to nutraceutical. *European journal of pharmacology*, 585, 325-37. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2008.03.008>
- Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M., Nwachukwu, I., & Slusarenko, A. (2014). Allicin: Chemistry and Biological Properties. *Molecules*, 19, 12591-12618. <https://doi.org/10.3390/molecules190812591>
- Borrello, M., Lombardi, A., Pascucci, S., & Cembalo, L. (2016). The Seven Challenges for Transitioning into a Bio-based Circular Economy in the Agri-food Sector. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 8, 39-47. <https://doi.org/10.2174/221279840801160304143939>
- Bratovic, A., Djapo-Lavic, M., Kazazic, M., & Mehic, E. (2021). EVALUATION OF ANTIOXIDANT CAPACITIES OF ORANGE, LEMON, APPLE AND BANANA PEEL EXTRACTS BY FRAP AND ABTS METHODS. *Rev. Roum. Chim*, 66, 713-717. <https://doi.org/10.33224/rrch.2021.66.8-9.03>
- Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 793-810. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.002>
- Carrillo-Calvo, M. d. I. C. C., Méndez, O. X. L., Jáuregui, M. E. C., & Marines, J. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de un pan tipo baguette utilizando harinas de trigo (*Triticum spp*) y chícharo (*Pisum sativum L.*) *Biotechnia*, 22, 116-124. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i3.1227>
- Cauvain, S. (2015). *Technology of Breadingmaking*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>
- Chen, K., Kortessniemi, M. K., Linderborg, K. M., & Yang, B. (2022). Anthocyanins as Promising Molecules Affecting Energy Homeostasis, Inflammation, and Gut

- Microbiota in Type 2 Diabetes with Special Reference to Impact of Acylation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71, 1002-1017. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c05879>
- Corzomartinez, M., Corzo, N., & Villamiel, M. (2007). Biological properties of onions and garlic. *Trends in Food Science & Technology*, 18, 609-625. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.07.011>
- Cozzolino, R., Malorni, L., Martignetti, A., Picariello, G., Siano, F., Forte, G., & De Giulio, B. (2021). Comparative analysis of volatile profiles and phenolic compounds of Four Southern Italian onion (*Allium cepa* L.) Landraces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 101, 103990. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103990>
- Decreto. (2012, septiembre). www.impo.com.uy. <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-internacional/402-2012/1>
- Decreto N 130/006. (2026, mayo). *Impo.com.uy*. Consultado el 15 de noviembre de 2024, desde <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/130-2006>
- Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2021). Plant Flavonoids: Chemical Characteristics and Biological Activity. *Molecules*, 26, 5377. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
- Eglite, A., & Kunkulberga, D. (2017). Bread choice and consumption trends. *Baltic Conference on Food Science and Technology FOODBALT "Food for consumer well-being"*. <https://doi.org/10.22616/foodbalt.2017.005>
- European bread market. (s.f.). *Federation of Bakers*. <https://www.fob.uk.com/about-the-bread-industry/industry-facts/european-bread-market/>
- Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845696344>
- Fitzgerald, C., Dallagher, E., Doran, L., Auty, M., Prieto, J., & Hayes, M. (2014). Increasing the health benefits of bread: Assessment of the physical and sensory qualities of bread formulated using a renin inhibitory *Palmaria palmata* protein hydrolysate. *LWT - Food Science and Technology*, 56, 398-405. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.031>
- Gavilanes Naranjo, G. A. (2018, marzo). La planificación financiera y la liquidez en las empresas panificadoras personales obligadas a llevar contabilidad de la ciudad de Ambato. *Uta.edu.ec*. Consultado el 14 de noviembre de 2024, desde <https://repositorio.uta.edu.ec/items/b871c6ad-2baf-4375-85f5-cc35f1a36a94>
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C. A., Caballero, P. A., & Apesteguía, A. (2003). Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology*, 216, 51-56. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0632-9>
- Guillamon, E. (2018). Effect of phytochemical compounds of the genus *Allium* on the immune system and the inflammatory response. <https://doi.org/10.30827/ars.v59i3.7479>

- Gutiérrez Avella, D. M., Ortiz García, C. A., & Mendoza Cisneros, A. (2008, octubre). Simposio de Metrología 2008 Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. <https://www.cenam.mx/simposio2008/sm.2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf>
- Hamilton, B. K., Pike, L. M., & Yoo, K. S. (1997). Clonal variations of pungency, sugar content, and bulb weight of onions due to sulphur nutrition. *Scientia Horticulturae*, 71, 131-136. [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(97\)00033-2](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(97)00033-2)
- Higdon, J., & Delage, B. (2014, mayo). Calcio, Instituto Linus Pauling, Universidad Estatal de Oregon. *Linus Pauling Institute*. <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/calcio>
- Jaime, L., Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M. A., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2002). Structural Carbohydrate Differences and Potential Source of Dietary Fiber of Onion (*Allium cepa*L.) Tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 122-128. <https://doi.org/10.1021/jf010797t>
- Jara, J. (s.f.). RESUMEN DE LA TESIS "METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INGREDIENTES FUNCIONALES ANTIOXIDANTES. Efecto de Fibra Antioxidante de Uva en status antioxidante y parámetros de riesgo cardiovascular en humanos, Departamento de Química Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1671/6494_perez_jimenez_jara.pdf
- Jarillo, D. (2013). Estudio de la actividad antioxidante de un extracto acuoso de cilantro (*coriandrum sativum*) sobre la inhibición de la formación de compuestos fluorescentes durante la glicación de proteínas, en función del pH, Instituto de Ciencias de la salud , Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. *Uaeh.edu.mx*. <https://doi.org/http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/1743>
- Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., & Gandía, L. M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, 265, 110510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110510>
- Joye, I. J., Lagrain, B., & Delcour, J. A. (2009). Use of chemical redox agents and exogenous enzymes to modify the protein network during breadmaking – A review. *Journal of Cereal Science*, 50, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.04.001>
- Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., & Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: Beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, 61, 1058-1066. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.01.017>
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 703-725. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00513.x>

- Kim, M.-Y., Seguin, P., Ahn, J.-K., Kim, J.-J., Chun, S.-C., Kim, E.-H., Seo, S.-H., Kang, E.-Y., Kim, S.-L., Park, Y.-J., Ro, H.-M., & Chung, I.-M. (2008). Phenolic Compound Concentration and Antioxidant Activities of Edible and Medicinal Mushrooms from Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 7265-7270. <https://doi.org/10.1021/jf8008553>
- Kim, S. Y., Jo, S.-H., Kwon, Y.-I., & Hwang, J. S. (2011). Effects of Onion (*Allium cepa* L.) Extract Administration on Intestinal alpha-Glucosidases Activities and Spikes in Postprandial Blood Glucose Levels in SD Rats Model. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 12, 3757-3769. <https://doi.org/10.3390/ijms12063757>
- Kousar, S., Sheikh, M. A., Asghar, M., & Rashid, R. (2017). EFFECT OF ONION (*Allium cepa* L.) EXTRACT ON MAILLARD REACTION UNDER in vitro CONDITIONS. Consultado el 2 de noviembre de 2024, desde [https://www.semanticscholar.org/paper/EFFECT-OF-ONION-\(Allium-cepa-L.\)-EXTRACT-ON-UNDER-Kousar-Sheikh/2c33171ced7d2d4f5d7a8ca411fdef84db9d3616](https://www.semanticscholar.org/paper/EFFECT-OF-ONION-(Allium-cepa-L.)-EXTRACT-ON-UNDER-Kousar-Sheikh/2c33171ced7d2d4f5d7a8ca411fdef84db9d3616)
- Kuan, L.-Y., Thoo, Y.-Y., & Siow, L.-F. (2016). Bioactive components, ABTS radical scavenging capacity and physical stability of orange, yellow and purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) powder processed by convection- or vacuum-drying methods. *International Journal of Food Science & Technology*, 51, 700-709. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13023>
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- Lancaster, J., & Boland, M. (1990). Flavor Biochemistry. In: Rabinowitch, H.D. and Brewster, J.L., Eds., *Onions and Allied Crops*, CRC Press, Boca Raton, 33-72.
- Lancaster, J. E., & Collin, H. (1981). Presence of alliinase in isolated vacuoles and of alkyl cysteine sulphoxides in the cytoplasm of bulbs of onion (*Allium cepa*). *Plant Science Letters*, 22, 169-176. [https://doi.org/10.1016/0304-4211\(81\)90139-5](https://doi.org/10.1016/0304-4211(81)90139-5)
- Lanzotti, V. (2006). The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography A*, 1112, 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.016>
- Li, X., Zheng, T., Sang, S., & Lv, L. (2014). Quercetin Inhibits Advanced Glycation End Product Formation by Trapping Methylglyoxal and Glyoxal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 12152-12158. <https://doi.org/10.1021/jf504132x>
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M., Wang, S., Liu, H., & Yin, Y. (2016). Quercetin, Inflammation and Immunity. *Nutrients*, 8, 167. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4808895/>
- Lin, J., & Zhou, W. (2018). Role of quercetin in the physicochemical properties, antioxidant and antiglycation activities of bread. *Journal of Functional Foods*, 40, 299-306. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.018>

- Lorenzo, A. (2018). Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado en alimentos. *Csic.es*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10261/172501>
- Lorenzo León, H. C., Rodríguez Galdón, B., Rodríguez Rodríguez, E. M., & Díaz Romero, C. (2009). Capacidad antioxidante de diferentes variedades de cebolla Antioxidant capacity of different onion cultivars. *CyTA - Journal of Food*, 7, 53-58. <https://doi.org/10.1080/11358120902850784>
- Marefati, N., Ghorani, V., Shakeri, F., Boskabady, M., Kianian, F., Rezaee, R., & Boskabady, M. H. (2021). A review of anti-inflammatory, antioxidant, and immunomodulatory effects of *Allium cepa* and its main constituents. *Pharmaceutical Biology*, 59, 287-302. <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.1874028>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes, Departamento de Fisiología, Universidad de León y Hospital de León, España. *Nutr. hosp*, 271-278. <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>
- Martins, Z., Pinho, O., & Ferreira, I. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 106-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>
- Matos, M. E., & Rosell, C. M. (2014). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 653-661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6732>
- McCann, T. H., & Day, L. (2013). Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking. *Journal of Cereal Science*, 57, 444-452. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.011>
- Michalak-Majewska, M., Sołowiej, B., & Sławińska, A. (2016). Antioxidant Activity, Technological and Rheological Properties of Baked Rolls Containing Dried Onions (*Allium cepa*L.) *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e12914. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12914>
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- Mitelut, A. C., Popa, E. E., Popescu, P. A., & Popa, M. E. (2021). Trends of innovation in bread and bakery production. *Trends in Wheat and Bread Making*, 199-226. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821048-2.00007-6>
- Moncada, E. (2019). Efecto de la aplicación de prácticas culturales en los fitoquímicos de cebolla (*Allium cepa*) orgánica. *Zamorano.edu*. Consultado el 14 de noviembre de 2024, desde <https://bdigital.zamorano.edu/items/33be062b-7c21-4051-b758-765bc6d242b7>
- Navarro Gómez, M. (2017, julio). Estudio in vitro de la capacidad antiglicante y mecanismo de acción de subproductos agroalimentarios. Obtención de un extracto

- vegetal antiglicante y su evaluación en una matriz alimentaria y modelo celular. *Docta.ucm.es*. Consultado el 14 de noviembre de 2024, desde <https://docta.ucm.es/entities/publication/5739818b-cae5-42ac-984a-20341a65b9c1>
- Neale, E. P., & Tapsell, L. C. (2022). Nutrition and Health Claims: Consumer Use and Evolving Regulation. *Current Nutrition Reports*, 11. <https://doi.org/10.1007/s13668-022-00422-3>
- ONU. (2015). Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., & Kumar, V. (2017, mayo). Onion (*Allium cepa* L.) *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/319703260-Onion-Allium-cepa.L>
- Pei, Y., Otieno, D., Gu, I., Lee, S.-O., Parks, J. S., Schimmel, K., & Kang, H. W. (2021). Effect of quercetin on nonshivering thermogenesis of brown adipose tissue in high-fat diet-induced obese mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 88, 108532. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108532>
- Peng, H., Gao, Y., Zeng, C., Hua, R., Guo, Y., Wang, Y., & Wang, Z. (2023). Effects of Maillard reaction and its product AGEs on aging and age-related diseases. *Deleted Journal*. <https://doi.org/10.26599/fshw.2022.9250094>
- Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008). Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *International Journal of Biomedical Science : IJBS*, 4, 89. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3614697/>
- Piechowiak, T., & Balawejder, M. (2019). Onion skin extract as a protective agent against oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* induced by cadmium. *Journal of Food Biochemistry*, 43. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12872>
- Poinot, P., Grua-Priol, J., Arvisenet, G., Rannou, C., Semenou, M., Bail, A. L., & Prost, C. (2007). Optimisation of HS-SPME to study representativeness of partially baked bread odorant extracts. *Food Research International*, 40, 1170-1184. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.011>
- Prokopov, T., Chonova, V., Slavov, A., Dessev, T., Dimitrov, N., & Petkova, N. (2018). Effects on the quality and health-enhancing properties of industrial onion waste powder on bread. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 5091-5097. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3448-8>
- Ramkisson, J., Mahomoodally, M., Ahmed, N., & Subratty, A. (2013). Antioxidant and anti-glycation activities correlates with phenolic composition of tropical medicinal herbs. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 6, 561-569. [https://doi.org/10.1016/s1995-7645\(13\)60097-8](https://doi.org/10.1016/s1995-7645(13)60097-8)
- Randle, W., & Bussard, M. (1993). Pungency and sugars of short-day onions as affected by sulfur nutrition. *AMERICAN SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE*,

- JOURNAL*. Consultado el 14 de noviembre de 2024, desde <https://worldveg.tind.io/record/21969>
- Rawat, N., & Indrani, D. (2014). Functional Ingredients of Wheat-Based Bakery, Traditional, Pasta, and Other Food Products. *Food Reviews International*, 31, 125-146. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.974267>
- Reglamento - 1169/2011 - EN - Reglamento IAC - EUR-Lex. (2018). *Europa.eu*. Consultado el 13 de noviembre de 2024, desde <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32011R1169&qid=1450096134294>
- Reglamento Bromatológico Nacional (RBN 2012), Decreto No 315/994. (1994). *Impo.com.uy*. Consultado el 14 de noviembre de 2024, desde <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/315-1994>
- Rubel, I., Pérez, E., Manrique, G., & Genovese, D. (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Structure*, 3, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.11.001>
- Rufián-Henares, J., Delgado-Andrade, C., & Morales, F. (2006). Analysis of heat-damage indices in breakfast cereals: Influence of composition. *Journal of Cereal Science*, 43, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.05.001>
- Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2023). Recent advances in probiotic breads; a market trend in the functional bakery products. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2261056>
- Sagar, N. A., & Pareek, S. (2020a). Dough rheology, antioxidants, textural, physicochemical characteristics, and sensory quality of pizza base enriched with onion (*Allium cepa* L.) skin powder. *Scientific Reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75793-0>
- Sagar, N. A., & Pareek, S. (2020b). Antimicrobial assessment of polyphenolic extracts from onion (*Allium cepa* L.) skin of fifteen cultivars by sonication-assisted extraction method. *Heliyon*, 6, e05478. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05478>
- Sagar, N. A., Pareek, S., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2020). Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: a comparative study of fifteen Indian cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 2423-2432. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04277-w>
- Sellappan, S., & Akoh, C. C. (2002). Flavonoids and Antioxidant Capacity of Georgia-Grown *Vidalia* Onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5338-5342. <https://doi.org/10.1021/jf020333a>
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98, 21-33. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.020>

- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0408-3>
- Sharma, K., Mahato, N., Nile, S. H., Lee, E. T., & Lee, Y. R. (2016). Economical and environmentally-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) waste. *Food & Function*, 7, 3354-3369. <https://doi.org/10.1039/c6fo00251j>
- Shovon, B., Abida, S., Muhammed Hasnan, S., Muhammed Ariful, I., & Ahtashom, M. M. (2013). Analysis of the Proximate Composition and Energy Values of Two Varieties of Onion (*Allium Cepa* L.) Bulbs of Different Origin: A Comparative Study. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2, 246. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20130205.16>
- Sibbel, A. (2007). The sustainability of functional foods. *Social Science & Medicine*, 64, 554-561. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.08.042>
- Siddiqui, N., Mohsin Ali, T., Abbas Butt, N., & Hasnain, A. (2022). Morphological, Rheological, Textural and Bioactive Properties of Chapatti (Flatbread) as Affected by Onion Peel Powder. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 3389-3402. <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01725-w>
- Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51, 456-467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>
- Slavin, J., & Green, H. (2007). Dietary fibre and satiety. *Nutrition Bulletin*, 32, 32-42. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00603.x>
- Slavin, J. (2013). Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, 5, 1417-1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Slimestad, R., Fossen, T., & Vågen, I. M. (2007). Onions: A Source of Unique Dietary Flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 10067-10080. <https://doi.org/10.1021/jf0712503>
- Soliman, G. A. (2019). Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease. *Nutrients*, 11, 1155. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>
- Speisky, H., Arias-Santé, M. F., & Fuentes, J. (2023). Oxidation of Quercetin and Kaempferol Markedly Amplifies Their Antioxidant, Cytoprotective, and Anti-Inflammatory Properties. *Antioxidants*, 12, 155. <https://doi.org/10.3390/antiox12010155>
- Sun, T., Simon, P. W., & Tanumihardjo, S. A. (2009). Antioxidant Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Biofortified Carrots (*Daucus carota* L.) of Various Colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4142-4147. <https://doi.org/10.1021/jf9001044>
- Takabe, W., Yamaguchi, T., Hayashi, H., Sugimura, N., Yagi, M., & Yonei, Y. (2018). Identification of Antiglycative Compounds in Japanese Red Water Pepper (Red Leaf Variant of the *Persicaria hydropiper* Sprout). *Molecules*, 23, 2319. <https://doi.org/10.3390/molecules23092319>

- Tanomrat, R., Naktubtim, C., Aimvijarn, P., & Suwannalert, P. (2023). N-acetylcysteine improves the inhibitory effect of Quercetin-rich onion extract on HT-29 and HCT-116 colorectal cancer migration and invasion through iNOS suppression. *International Journal of Medical Sciences*, 20, 1123-1134. <https://doi.org/10.7150/ijms.86573>
- Timmermans, E., Bautil, A., Brijs, K., Scheirlinck, I., Van der Meulen, R., & Courtin, C. M. (2022). Sugar Levels Determine Fermentation Dynamics during Yeast Pastry Making and Its Impact on Dough and Product Characteristics. *Foods*, 11, 1388. <https://doi.org/10.3390/foods11101388>
- Walker, G., & Stewart, G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented Beverages. *Beverages*, 2, 30. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/beverages2040030>
- Wandersleben, T., Morales, E., Burgos-Díaz, C., Barahona, T., Labra, E., Rubilar, M., & Salvo-Garrido, H. (2018). Enhancement of functional and nutritional properties of bread using a mix of natural ingredients from novel varieties of flaxseed and lupine. *LWT*, 91, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.029>
- Winiarska-Mieczan, A., & Kwiecień, M. (2011). Evaluation of the mineral composition of breadstuff and frequency its consumption. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 10, 487-495. Consultado el 5 de noviembre de 2024, desde <https://www.food.actapol.net/volume10/issue4/abstract-7.html>
- Wu, S., Jia, W., He, H., Yin, J., Xu, H., He, C., Zhang, Q., Peng, Y., & Cheng, R. (2023). A New Dietary Fiber Can Enhance Satiety and Reduce Postprandial Blood Glucose in Healthy Adults: A Randomized Cross-Over Trial. *Nutrients*, 15, 4569-4569. <https://doi.org/10.3390/nu15214569>
- Yang, S., Zhang, Z., Li, J., Niu, Y., & Yu, L. L. (2021). Inhibition Mechanism of L-Cysteine on Maillard Reaction by Trapping 5-Hydroxymethylfurfural. *Foods*, 10, 1391. <https://doi.org/10.3390/foods10061391>
- Zeng, Y., Li, Y., Yang, J., Pu, X., Du, J., Yang, X., Yang, T., & Yang, S. (2017). Therapeutic Role of Functional Components in Alliums for Preventive Chronic Disease in Human Being. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2017/9402849>
- Zhang, X., Chen, F., & Wang, M. (2014). Antioxidant and Antiglycation Activity of Selected Dietary Polyphenols in a Cookie Model. 62, 1643-1648. <https://doi.org/10.1021/jf4045827>
- Zhao, X.-X., Lin, F.-J., Li, H., Li, H.-B., Wu, D.-T., Geng, F., Ma, W., Wang, Y., Miao, B.-H., & Gan, R.-Y. (2021). Recent Advances in Bioactive Compounds, Health Functions, and Safety Concerns of Onion (*Allium cepa* L.) *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.669805>