

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

DE ORIHUELA GRADO EN CIENCIA Y

TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**Aprovechamiento de los Subproductos de Florales de
Azafrán para el Desarrollo de Infusiones Funcionales:
Impacto del pH y el Tiempo de Extracción**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio 2025

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Autor/a: Alejandro Parra García

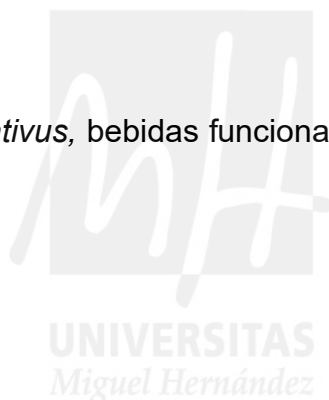
Tutor/a: Estefanía Valero Cases

Cotutor/a: María José Frutos Fernández

Resumen:

Este estudio analiza el potencial de las flores de azafrán (*Crocus sativus* L.), un subproducto agrícola, para su revalorización en la producción de infusiones funcionales. El objetivo principal fue evaluar el impacto del pH y el tiempo de extracción sobre las propiedades fisicoquímicas, el contenido en polifenoles y la capacidad antioxidante de las infusiones. Se prepararon dos tipos de infusiones: una con agua acidificada (pH 2) y otra sin acidificar. El agua acidificada favoreció la extracción de compuestos fenólicos, aumentando la actividad antioxidante. El tiempo óptimo de extracción fue entre 6 y 8 minutos. Las infusiones acidificadas mostraron tonalidades rojizas más intensas, mientras que las no acidificadas tendieron al púrpura. Los resultados indican que la acidificación mejora las propiedades funcionales. Este enfoque contribuye a reducir residuos agrícolas y promueve el desarrollo de bebidas saludables.

Palabras clave: *Crocus sativus*, bebidas funcionales, sostenibilidad, capacidad antioxidante, polifenoles.



Abstract:

This study analyzes the potential of saffron flowers (*Crocus sativus* L.), an agricultural byproduct, for revaluation in the production of functional infusions. The main objective was to evaluate the impact of pH and extraction time on the physicochemical properties, polyphenol content, and antioxidant capacity of the infusions. Two types of infusions were prepared: one with acidified water (pH 2) and the other without. Acidified water favored the extraction of phenolic compounds, increasing antioxidant activity. The optimal extraction time was between 6 and 8 minutes. Acidified infusions showed more intense reddish hues, while non-acidified infusions tended toward purple. The results indicate that acidification improves functional properties. This approach contributes to reducing agricultural waste and promotes the development of healthy beverages.

Keywords: *Crocus sativus*, functional beverages, sustainability, antioxidant capacity, polyphenols.



ÍNDICE

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 El azafrán y sus subproductos.....	2
1.2 Revalorización y sostenibilidad en la industria agroalimentaria	3
1.3 Bebidas funcionales como vehículo de bienestar	5
2. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo principal.....	7
2.2 Objetivos específicos	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 Materias primas y preparación de las flores de azafrán.....	8
3.2 Preparación de las infusiones.....	8
3.3 Medida de parámetros fisicoquímicos.....	9
3.3.1 pH.....	9
3.3.2 Acidez	9
3.3.3 Sólidos solubles totales	9
3.3.4 Color	10
3.4 Análisis de las propiedades funcionales.....	10
3.4.1 Capacidad antioxidante	10
3.4.1.1 Capacidad antioxidante: Método DPPH.....	10
3.4.1.2 Capacidad antioxidante: Método ABTS.....	11
3.4.2 Polifenoles totales: Método de Folin-Ciocalteu	11
3.5 Análisis Estadístico	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 Análisis fisicoquímico de las infusiones.....	13
4.2 Resultados del Color en las Infusiones.....	16
4.3 Resultados de la capacidad antioxidante de las infusiones	19
4.3.1 Método DPPH.....	19
4.3.2 Método ABTS	20
4.3.3 Resultados de polifenoles totales en las infusiones	20
5. CONCLUSIÓN.....	23
6. BIBLIOGRAFÍA	24

1.INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, la búsqueda de una mejor calidad de vida ha impulsado el interés por el consumo de alimentos y bebidas con propiedades funcionales. La sociedad actual demanda productos que no solo satisfagan necesidades nutricionales básicas, sino que también brinden beneficios adicionales para la prevención de enfermedades y el mantenimiento de la salud a largo plazo. Este cambio está impulsado por un mayor conocimiento sobre la relación entre la dieta y la salud, así como por una creciente conciencia sobre la importancia de un estilo de vida saludable (Ratz-Łyko et al., 2015; Zeinali et al., 2019).

La industria alimentaria ha respondido a esta demanda desarrollando alimentos funcionales, que son aquellos que contienen componentes bioactivos capaces de mejorar la salud más allá de los efectos nutricionales básicos.

En este contexto, el uso de infusiones ha experimentado un notable incremento debido a sus propiedades funcionales. Preparadas a partir de diversas hierbas, frutas, flores y especias, contienen una variedad de compuestos bioactivos que pueden contribuir al bienestar. Este aumento en su consumo se relaciona con una tendencia general hacia la búsqueda de alternativas naturales y menos procesadas en la dieta diaria (Yang et al., 2019; Gülçin, 2020). Además, las infusiones presentan una opción conveniente y accesible para incorporar componentes beneficiosos en la dieta, lo que facilita la adopción de hábitos de consumo saludables (Koh et al., 2021).

La expansión de la oferta de infusiones funcionales refleja esta demanda, con productos que incluyen extractos de plantas específicas que apuntan a mejorar diferentes aspectos de la salud, desde el sistema inmunológico hasta el manejo del estrés. Esta diversificación responde a un mercado cada vez más competitivo y orientado a satisfacer las necesidades de consumidores interesados en una alimentación integral y holística (Cao et al., 2020; Yang et al., 2019). Un ejemplo prometedora de esta tendencia es la revalorización de las flores de azafrán (*Crocus sativus* L.) para la elaboración de infusiones. Tradicionalmente conocido por sus estigmas como especia, el resto de la flor de azafrán, rica en compuestos

bioactivos como flavonoides y otros antioxidantes, está emergiendo como una fuente valiosa para desarrollar nuevos alimentos funcionales con propiedades beneficiosas para la salud, contribuyendo a la sostenibilidad y al aprovechamiento integral de este cultivo tanpreciado.

1.1 El azafrán y sus subproductos

El azafrán (*Crocus sativus L.*) es una de las especias más valiosas del mundo, conocida por sus propiedades colorantes y aromáticas. Sin embargo, la producción del azafrán genera una considerable cantidad de subproductos florales durante la cosecha y procesamiento de esta especia. Por cada kilogramo de azafrán recolectado, se estima que se desechan aproximadamente 150.000 y 200.000 flores de flores, incluyendo pétalos y otros componentes no utilizados. Tradicionalmente, estos subproductos han sido considerados residuos, pero recientes estudios sugieren que poseen un valor significativo debido a su contenido en compuestos bioactivos.

Estas flores contienen una variedad de compuestos como flavonoides, antocianinas y otros polifenoles, que tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Cardone et al., 2020; Ghorbani et al., 2020; Melnyk et al., 2022; Ramadan et al., 2018). Diversos estudios han demostrado que los extractos de las flores del azafrán poseen actividades biológicas que pueden ser beneficiosas en la prevención de enfermedades crónicas y en el mantenimiento de la salud general. Por ejemplo, se observado que estos extractos florales pueden reducir el estrés oxidativo y modular la respuesta inmune, lo que sugiere su potencial uso en aplicaciones nutracéuticas y farmacéuticas (Bukhari et al., 2022; D'Archivio et al., 2023; Sánchez-Vioque et al., 2022). Además, las flores del azafrán tienen un perfil aromático único que podría ser usado en la industria de alimentos y bebidas para el desarrollo de productos innovadores (Caballero-Ortega et al., 2022; Cardone et al., 2020).



Figura 1. *Crocus sativus*. L. Flor del azafrán

1.2 Revalorización y sostenibilidad en la industria agroalimentaria

La existencia de estos subproductos valiosos, como las flores de azafrán, resalta una oportunidad clave en la industria agroalimentaria. Este sector, fundamental para la economía española, anualmente genera millones de toneladas de residuos que se destinan, fundamentalmente, a la alimentación animal o a la producción de biogás, una estrategia de gestión costosa y de bajo valor añadido (López-González et al., 2020; MAPA, 2025). No obstante, la mayoría de los subproductos de origen vegetal poseen una estimable concentración de componentes de alto valor nutritivo y farmacológico. Su recuperación y revalorización no solo contribuyen a los objetivos generales del Plan Nacional Integral de Residuos de España, sino que también se alinean con las actuales tendencias de producción sostenible (García-García et al., 2020; López-García et al., 2019; Sánchez et al., 2021).

En este sentido, la economía circular y las prácticas sostenibles son esenciales convirtiendo la revalorización de los productos florales, como los del azafrán, en una estrategia crucial. Al ser ricos en polifenoles y otras sustancias bioactivas estos subproductos no solo reducen el desperdicio, sino que también abre nuevas posibilidades para la producción de productos de alto valor agregado, generando importantes beneficios económicos y promoviendo una gestión más integral y eficiente de los recursos agrícolas. Este enfoque puede tener

implicaciones significativas en diversas industrias, incluyendo:

- **Aplicaciones en la Industria Cosmética:** Los compuestos bioactivos presentes en las flores del azafrán, como los flavonoides y las antocianinas, poseen propiedades antioxidantes que pueden ser beneficiosas para la piel. Estos compuestos ayudan a combatir los radicales libres y el envejecimiento cutáneo, lo que los hace valiosos para su uso en productos cosméticos (Xiong et al., 2023).
- **Potencial en la Industria Alimentaria:** Los extractos de flores de azafrán también pueden utilizarse como aditivos naturales en la industria alimentaria, proporcionando color, sabor y beneficios nutricionales (Singletary, 2020). Por ejemplo, las antocianinas son pigmentos naturales que pueden ofrecer una alternativa a los colorantes artificiales, que son cada vez menos aceptados por los consumidores. Además, estos extractos podrían ser utilizados en el desarrollo de alimentos funcionales, que ofrecen beneficios para la salud más allá de la nutrición básica.
- **Investigación Farmacéutica:** el potencial terapéutico de los compuestos presentes en las flores del azafrán presenta posibles efectos neuroprotectores (Cerdá-Bernad et al., 2022) (), antidepresivos (Siddiqui et al., 2018) y ansiolíticos (Stanley & Beaumont, 2018), lo que abre la posibilidad de desarrollar nuevos tratamientos farmacológicos, pudiendo llevar a la creación de nuevos medicamentos o suplementos dietéticos.

Por lo tanto, la valorización de los subproductos florales del azafrán podría tener un impacto económico significativo, especialmente en regiones donde el cultivo del azafrán es una fuente importante de ingresos. Al añadir valor a los residuos agrícolas, se puede mejorar la rentabilidad de las explotaciones de azafrán, fomentar la innovación y la creación de empleo en áreas rurales, y contribuir a la sostenibilidad económica de estas comunidades (Ramadan et al., 2018). Además, esta práctica puede servir como modelo para otras industrias agrícolas, promoviendo prácticas sostenibles y la economía circular en un sector más amplio (Bukhari et al., 2022).

1.3 Bebidas funcionales como vehículo de bienestar

Las bebidas funcionales han emergido como un vehículo atractivo para incorporar compuestos bioactivos como los polifenoles a la alimentación diaria, respondiendo a la creciente demanda de productos que no solo nutran, sino que también aporten beneficios adicionales para la salud y el bienestar (Granato et al., 2020). Entre estas, las infusiones se encuentran entre las bebidas más consumidas en el mundo, principalmente en países asiáticos, sudamericanos y europeos (Li et al., 2021; Otálora et al., 2021).

Las bebidas funcionales representan uno de los segmentos de productos más dinámicos del mercado actual, ofreciendo beneficios específicos para la salud, que van desde la mejora de la digestión hasta el fortalecimiento del sistema inmunológico (Pinazo Momparler, A., 2015; Qadir, S et al., 2020). Al incluir ingredientes como polifenoles, vitaminas, probióticos y otros compuestos bioactivos, estas bebidas se posicionan como vehículos eficaces para la promoción del bienestar general. Su creciente popularidad se debe en parte a la conveniencia que ofrecen, permitiendo a los consumidores integrar de manera sencilla ingredientes beneficiosos en su dieta diaria. Dentro de este sector, la industria de las infusiones está experimentando un crecimiento significativo debido al interés en los compuestos bioactivos y sus beneficios para la salud. Las infusiones se están consolidando como una opción popular entre los consumidores que buscan alternativas más saludables, naturales, organolépticas y funcionales. Los polifenoles, flavonoides, catequinas y terpenoides presentes en las plantas utilizadas para infusiones, tienen una amplia gama de beneficios, que incluyen propiedades antioxidantes (Ratz-Lyko et al., 2015), antiinflamatorias (Zeinali, M, et al 2019), antimicrobianas (Vahidi, H, et al 2002) y neuroprotectoras (Cerdá-Bernand et al., 2022), entre otros.

Por lo tanto, la industria de las infusiones está en plena expansión, impulsada por el valor intrínseco de los productos bioactivos y una visión cada vez más holística de la salud (Sánchez-Vioque, López-Martínez, & Rodríguez-Bernaldo de Quirós, 2022). Esta tendencia abre un futuro prometedor para el desarrollo y consumo de infusiones innovadoras a base de flores, y especialmente para la revalorización de subproductos florales de azafrán. Mediante el estudio y

optimización de procesos de extracción y las condiciones de pH y tiempo de infusión, se puede maximizar el rendimiento de compuestos bioactivos. Esto permitirá crear bebidas funcionales con un contenido óptimo de polifenoles y las propiedades deseadas, consolidando el papel de las flores de azafrán como un recurso valioso en la evolución del mercado de las bebidas saludables.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el potencial de las flores de azafrán (*Crocus sativus* L.), un subproducto de alto valor, para el desarrollo de nuevas bebidas funcionales, aprovechando sus propiedades bioactivas y contribuyendo a la sostenibilidad en la industria agroalimentaria.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las infusiones elaboradas a partir de las flores de azafrán bajo diferentes condiciones de preparación (con y sin acidificación), analizando el impacto del tiempo de infusión en estas propiedades.
- Evaluar la capacidad antioxidante y el contenido en polifenoles totales de las infusiones obtenidas.
- Desarrollar un protocolo optimizado para la elaboración de infusiones funcionales a partir de flores de azafrán, que maximice la extracción de compuestos beneficiosos y mejore sus características organolépticas.
- Contribuir a la revalorización de los subproductos florales del azafrán, fomentando un modelo de economía circular y añadiendo valor a la cadena de producción de esta valiosa especia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materias primas y preparación de las flores de azafrán

Las flores de la planta *Crocus sativus* L. se obtuvieron de la región de Castilla-La Mancha (España) durante la temporada de cosecha de 2023. Una vez recolectadas, las flores se congelaron a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se pesaron en bandejas de aluminio para liofilizarlas en un liofilizador (Christ Alpha 2-4 (B. Braun Biotech International, Melsungen; Alemania). Las flores liofilizadas se pesaron y se trituraron cuidadosamente en un mortero hasta conseguir un tamaño de partícula uniforme, adecuado para su uso en infusiones. Posteriormente, se almacenaron a vacío y se congelaron a -20°C hasta su posterior uso.



Figura 2. Flores del azafrán utilizadas durante el trabajo

3.2 Preparación de las infusiones

Para la elaboración de las infusiones, se prepararon dos tipos de agua como base: Agua sin acidificar: 500 ml de agua (INC) y otra con agua acidificada: 500 ml de agua acidificada con ácido cítrico (INF-AC) hasta alcanzar un pH de 2. Ambas muestras se calentaron a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Siguiendo el modelo de Acuña, O., & Torres, A. (2010), se utilizó una proporción de 1 gramo de flores por cada 250 ml de agua colocadas en bolsas de infusión para asegurar una distribución homogénea del material vegetal en cada tipo de agua. Se extrajeron alícuotas de 20 ml de cada infusión en los siguientes intervalos de tiempo: T0 (inmediato),

T2, T4, T6, T8 y T10 minutos. Estas alícuotas se destinaron al posterior análisis de parámetros fisicoquímicos, contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante. La temperatura de las infusiones se controló rigurosamente y los tiempos de extracción se registraron con precisión para asegurar la fiabilidad de los resultados.

3.3 Medida de parámetros fisicoquímicos

3.3.1 pH

Para medir el pH, se utilizó un medidor de pH previamente calibrado (Crison 23, Barcelona, España). El procedimiento consistió en sumergir el electrodo del medidor de pH en los dos tipos de infusiones a los diferentes tiempos establecidos en el método.

3.3.2 Acidez

Para la acidez titulable (AT), se pesó 1 g de cada muestra y se homogeneizó con 9 mL de agua destilada. Después se agregó tres gotas de fenolftaleína al 1% como indicador. A continuación, se tituló las diferentes muestras con NaOH 0,1 N hasta que adquirieron un color rosa pálido de manera constante durante 30 s. La AT de cada una de las muestras se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$AT (\%) = [(10 \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot 0,009 \cdot 0,1) / W] \cdot 100$$

Donde, 10 = factor de dilución, V. NaOH = volumen de NaOH utilizado para neutralizar el ácido cítrico, = factor de conversión (1 mL de NaOH (0,01 N) neutraliza 0.0006404 g de ácido cítrico), 0,1 = Normalidad de NaOH, W = peso de la muestra

3.3.3 Sólidos solubles totales

Para determinar los sólidos solubles totales (TSS), se utilizó un refractómetro digital (Hanna®, modelo H196812), que fue calibrado previamente con agua destilada. Las mediciones se realizaron con los dos tipos de infusiones a los diferentes tiempos. Cada muestra se midió tres veces para asegurar la precisión de los resultados, y los datos se expresaron en grados Brix (°Brix).

3.3.4 Color

Para evaluar el color de las infusiones, se utilizó un colorímetro Minolta CR-300 Chroma Meter (Osaka, Japón), aplicando el sistema de color CIELAB. Este sistema, definido por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE, 1978), describe los colores mediante tres coordenadas: L^* , a^* , y b^* .

La coordenada L^* indica la luminosidad o claridad del color, con un rango de valores que va de 0 (negro) a 100 (blanco). Las coordenadas a^* y b^* se sitúan en un plano perpendicular al eje de la luminosidad. La coordenada a^* mide la tendencia del color hacia el rojo cuando los valores son positivos y hacia el verde cuando son negativos. Por otro lado, la coordenada b^* refleja la inclinación hacia el amarillo con valores positivos y hacia el azul con valores negativos (Sánchez-Marañón et al., 1995).

3.4 Análisis de las propiedades funcionales

Para analizar los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en los dos tipos de infusiones, se realizó una extracción con metanol como solvente.

Las mezclas se sometieron a agitación durante 10 minutos en un agitador magnético a 1000 rpm. Posteriormente, las muestras se sonicaron en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos. A continuación, todas las muestras se centrifugaron a 10.000 rpm durante 10 minutos a 4 °C (C30P de B. Braun Biotech International). Finalmente, se recogieron los sobrenadantes y se almacenaron a -20 °C hasta su análisis posterior.

3.4.1 Capacidad antioxidante

3.4.1.1 Capacidad antioxidante: Método DPPH

Para evaluar la actividad antioxidante de las diferentes muestras, se empleó el método DPPH siguiendo la metodología descrita por Brand Williams et al. (1995), con algunas modificaciones: Para preparar el radical DPPH, se disolvió 0,0035 g de DPPH en 10 mL de metanol. Después de la preparación, el reactivo se mantuvo en oscuridad durante 30 minutos para su estabilización. Posteriormente, se ajustó la absorbancia de la solución a $1,00 \pm 0,07$ a 515 nm.

Para medir las absorbancias de las muestras, se añadieron 950 μL del reactivo DPPH y 50 μL de la muestra correspondiente en cubetas de poliestireno, repitiendo el procedimiento por triplicado. Las cubetas se mantuvieron en oscuridad durante 30 minutos antes de medir la absorbancia a 515 nm. Los resultados se expresaron como mmol de equivalentes de Trolox (TE) /100 mL de muestra.

3.4.1.2 Capacidad antioxidante: Método ABTS

La actividad de captación de radicales libres se evaluó utilizando el método ABTS [2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)], siguiendo el protocolo desarrollado por Re et al. (1999), brevemente: El radical ABTS, se preparó a 7 mM y se mezcló con $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ a 2,45 mM. La mezcla se dejó reaccionar durante 16 horas en oscuridad a temperatura ambiente. Después de la preparación, la solución de ABTS se diluyó con agua ultrapura (1 mL en 100 mL) hasta obtener una absorbancia de $0,70 \pm 0,03$ a 734 nm, medida con un espectrofotómetro (UV/Vis Spectrophotometer T80; PG Instruments Limited, UK). Para los ensayos, se combinaron 990 μL de la solución de ABTS con 10 μL de los extractos de las diferentes muestras. La mezcla se agitó y se dejó reaccionar durante 6 minutos en oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia a 734 nm en el espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como mmol de Trolox/100 mL de muestra.

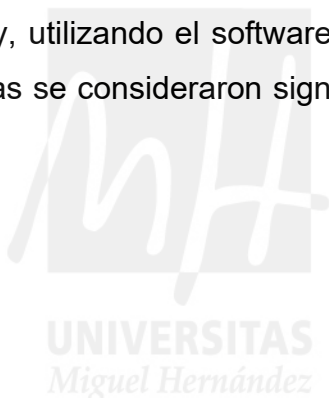
3.4.2 Polifenoles totales: Método de Folin-Ciocalteu

Para la determinación de polifenoles, se utilizó el método de Folin-Ciocalteu, siguiendo el protocolo descrito por Singleton et al. (1999), con algunas modificaciones. En un tubo de ensayo, se mezclaron 2,5 mL de reactivo Folin diluido con agua ultrapura en una proporción 1:10 (v/v), 100 μL de muestra y 400 μL de tampón fosfato 50 mM. Este tampón se preparó disolviendo 1,7 g de KH_2PO_4 en 250 mL de agua ultrapura y 2,177 g de K_2HPO_4 en 250 mL de agua ultrapura, mezclando ambas soluciones lentamente hasta alcanzar un pH de 7,5. La mezcla se agitó y se dejó reposar durante 2 minutos a temperatura ambiente. Luego, se añadieron 2 mL de una solución de Na_2CO_3 (75 g de Na_2CO_3 en 1 L

de agua ultrapura). La mezcla se agitó nuevamente y se incubó en un baño termostático a 50 °C durante 10 minutos. Se utilizó ácido gálico a 1 mM como patrón de referencia en diferentes concentraciones. Las absorbancias de las diferentes muestras se midieron a 760 nm utilizando un espectrofotómetro (UV/Vis Spectrophotometer T80; PG Instruments Limited, UK). Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mg de ácido gálico/100 mL de muestra.

3.5 Análisis Estadístico

Los resultados se presentaron como media $\pm$ desviación estándar. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Las comparaciones de las medias se llevaron a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de rango múltiple de Tukey, utilizando el software SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Las diferencias se consideraron significativas para valores de $p \leq 0,05$.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis fisicoquímico de las infusiones

En la Tabla 1, se muestran los resultados de pH para las distintas muestras a lo largo del tiempo de infusión. Como era de esperar, las infusiones preparadas con agua acidificada (INF-AC) mantuvieron un pH significativamente más bajo (alrededor de 2.30-2.34) en comparación con las infusiones en agua sin acidificar (INF-N), cuyo pH osciló entre 5.77 y 6.12. Esta marcada diferencia confirma la efectividad de la adición de ácido cítrico en la muestra INF-AC para establecer y mantener un ambiente consistentemente ácido. A lo largo del tiempo de infusión, se comprobó que en los tiempos iniciales de infusión (0 y 2 minutos), no se observaron diferencias significativas entre los valores de pH obtenidos en ninguna de las muestras, lo cual sugiere que, durante los primeros momentos de la infusión, la extracción de compuestos es limitada. Sin embargo, a partir de los 4 minutos, se produce un aumento en el pH en ambas infusiones, lo que indica una mayor liberación de compuestos alcalinos o la disolución de sustancias con efecto amortiguador. Esta estabilización entre los 4 y 10 minutos puede estar relacionada con el equilibrio en la liberación de compuestos hidrosolubles, como flavonoides, presentes en las flores de azafrán, que podrían modificar el pH de la solución (Hosseini et al., 2021). El pH influye directamente en la estabilidad y solubilidad de muchos compuestos bioactivos, especialmente las antocianinas, que son responsables de los pigmentos.

Respecto a los resultados de acidez (% de ácido cítrico), (Tabla 1), en las infusiones elaboradas con agua sin acidificar (INF-N), el contenido de acidez mostró un aumento significativo a partir de los 2 minutos de infusión, duplicando su valor inicial. La acidez pasó de 0,48% a 0,96% de ácido cítrico, manteniéndose constante desde el minuto 2 hasta el 10. Este comportamiento indica un rápido aumento en la acidez durante los primeros dos minutos de infusión, seguido por una estabilización. El incremento observado puede estar relacionado con la extracción de ácidos orgánicos presentes en las flores de azafrán, como el ácido málico, el ácido tartárico y, en menor medida, el ácido

cítrico, que son comunes en muchas flores y hierbas usadas para preparar infusiones (Guijarro-Díez et al., 2017). La estabilización de la acidez sugiere que estos ácidos se extraen rápidamente durante los primeros minutos de contacto con el agua caliente, alcanzando un punto de saturación donde ya no se libera una cantidad significativa de ácidos adicionales. Este comportamiento es similar a lo observado en otras infusiones de plantas medicinales, donde los ácidos orgánicos se extraen casi por completo en los primeros minutos del proceso (Mahmoudi et al., 2020). Sin embargo, en las infusiones preparadas con agua acidificada (INF-AC), no se observaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de acidez a lo largo del tiempo de infusión. Lo que indica que la acidez se mantuvo estable independientemente del tiempo de contacto. El alto valor inicial de acidez en la Muestra INF-AC refleja la contribución del ácido cítrico añadido al agua. En estudios previos, se ha demostrado que la adición de ácido cítrico a infusiones no solo ajusta el pH, sino que también influye en la solubilización de ciertos compuestos fenólicos y ácidos orgánicos, lo que podría explicar (Pérez-López et al., 2015). Por lo tanto, la principal diferencia entre ambas muestras radica en el nivel de acidez inicial y en la cinética de extracción de los ácidos orgánicos. En la Muestra INC, con agua sin acidificar, se observa un aumento inicial en la acidez durante los primeros dos minutos, seguido de una estabilización. Este comportamiento es consistente con la extracción de ácidos orgánicos naturalmente presentes en las flores de azafrán, los cuales se liberan rápidamente durante los primeros minutos de infusión y luego alcanzan un equilibrio (Guijarro-Díez et al., 2017).

Respecto al contenido en sólidos solubles totales (Tabla 1), se pudo observar un aumento en los °Brix a partir de los 4 minutos, lo cual indica una mayor liberación de sólidos solubles durante la infusión. Estos resultados coinciden con estudios previos que han demostrado que, en infusiones de plantas, los primeros minutos se caracterizan por la extracción de compuestos más simples y rápidos de solubilizar, como azúcares simples. A partir del minuto 4, se observa una extracción más prolongada de compuestos más complejos o de mayor peso molecular, lo que explicaría el incremento significativo en los sólidos solubles

(Martínez-Tomé et al., 2011; Rodríguez-Solana et al., 2019). Las infusiones elaboradas con agua acidificada (INF-AC) no mostraron diferencias significativas en los valores de °Brix a lo largo del tiempo de contacto, manteniéndose estables durante todo el tiempo de infusión. La estabilidad de los °Brix a lo largo del tiempo indica que, tras la extracción inicial, la cantidad de sólidos solubles adicionales que se liberan es mínima, lo que sugiere que gran parte de los sólidos solubles que pueden extraerse de las flores de azafrán en agua acidificada se liberan rápidamente al comienzo del proceso. Esto es consistente con la naturaleza del ácido cítrico, que podría haber facilitado la solubilización de ciertos compuestos de manera más rápida que en agua sin acidificar (Pérez-López et al., 2015).

Tabla 1

Parámetros Físicoquímicos (pH, °Brix, acidez) de Infusiones de Flores de Azafrán con y sin ácido cítrico

Parámetros	Tiempo (min)	Muestras	
		Muestra INC	Muestra INF-AC
pH	0	5,77 ± 0,07 a	2,30 ± 0,02 a
	2	5,96 ± 0,01 a	2,30 ± 0,01 a
	4	6,16 ± 0,07 b	2,32 ± 0,02 b
	6	6,11 ± 0,01 b	2,31 ± 0,01 b
	8	6,12 ± 0,07 b	2,34 ± 0,01 b
	10	6,12 ± 0,03 b	2,34 ± 0,02 b
°Brix	0	0,13 ± 0,06 a	1,07 ± 0,06 a
	2	0,17 ± 0,06 a	1,07 ± 0,06 a
	4	0,25 ± 0,06 b	1,13 ± 0,06 a
	6	0,27 ± 0,06 b	1,17 ± 0,06 a
	8	0,33 ± 0,10 b	1,10 ± 0,10 a
	10	0,33 ± 0,06 b	1,17 ± 0,06 a
% Acidez (ácido cítrico)	0	0,48 ± 0,01 a	20,49 ± 1,11 a
	2	0,96 ± 0,01 b	20,49 ± 1,11 a
	4	0,96 ± 0,01 b	21,77 ± 1,11 a
	6	0,96 ± 0,01 b	22,42 ± 1,11 a
	8	0,96 ± 0,01 b	21,13 ± 1,92 a
	10	0,96 ± 0,01 b	22,42 ± 1,11 a

Media ± desviación estándar (n=3) en la misma columna seguidas de diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para una misma muestra a lo largo del tiempo de infusión. INC: infusión de flores de azafrán s con agua sin acidificar. INF-AC: infusión de flores de azafrán con agua acidificada

4.2 Resultados del Color en las Infusiones

La Tabla 2 presenta los valores de las coordenadas de color CIE Lab* para las infusiones de flores de azafrán, tanto en agua sin acidificar (INC) como en agua acidificada (INF-AC), a lo largo del tiempo de infusión (10 minutos). Estos parámetros son cruciales para entender la apariencia visual de las infusiones, un factor determinante en la aceptación por parte del consumidor. El parámetro L^* , que indica la luminosidad o claridad (donde 100 es blanco y 0 es negro), mostró una tendencia decreciente en ambas muestras a lo largo del tiempo de infusión. Esto significa que las infusiones se volvieron progresivamente más oscuras a medida que se prolongaba el tiempo de extracción. Esta disminución en L^* es significativa en ambas muestras, lo que es un resultado esperado al extraer más pigmentos (como ciertos antocianos y flavonoides) y sólidos solubles de la flor con el paso de los minutos (Hashemi Gahruie et al., 2017). Al inicio (T_0), la muestra INC era ligeramente más clara ($L^* = 27.93$) que la INF-AC ($L^* = 25.89$). Sin embargo, ambas muestras alcanzaron valores de luminosidad muy similares al final del proceso de infusión ($L^* \approx 22.68$ a los 10 minutos). Esto sugiere que, aunque partieron de puntos ligeramente diferentes, la extracción prolongada llevó a una saturación de la oscuridad similar en ambos medios. La acidificación (INF-AC) provocó una disminución más pronunciada de la luminosidad en los primeros 2 minutos, lo que podría indicar una extracción más rápida de compuestos oscuros o pigmentos en el medio ácido inicial.

El parámetro a^* representa el espectro de color desde el verde ($-a^*$) al rojo ($+a^*$). Aquí se observan diferencias notables entre las dos condiciones de pH. En la muestra INC, los valores de a^* fueron consistentemente negativos (entre -1.18 y -0.66) y no mostraron diferencias significativas a lo largo del tiempo de infusión. Estos valores, cercanos a cero o ligeramente negativos, sugieren una tendencia hacia tonos más azulados o violetas, característicos de ciertos pigmentos como las antocianinas cuando no están en un medio fuertemente ácido, donde su estructura puede cambiar hacia colores más azules o morados.

Por otro lado, la muestra INF-AC (agua acidificada) presentó valores de a^* consistentemente positivos y significativamente más altos (entre 2.36 y 3.56) en

comparación con INC. Esto indica una clara presencia de tonos rojizos en las infusiones acidificadas. Si bien hubo ligeras fluctuaciones, los valores de a^* en INF-AC también muestran una estabilidad relativa a lo largo del tiempo. Este marcado contraste en el eje a^* marca la influencia del pH en la estabilidad y expresión del color de los pigmentos de las flores de azafrán, confirmando que las condiciones ácidas favorecen la aparición y estabilidad de tonalidades rojas. Esta diferencia cromática podría deberse al efecto del ácido cítrico sobre la estructura y solubilidad de los compuestos cromóforos, como las antocianinas, cuya tonalidad se ve favorecida en medios ácidos (Martínez-Tomé et al., 2001). A pH bajo, las antocianinas adoptan su forma catiónica flavilio, intensamente roja, mientras que en condiciones más básicas predominan formas menos coloreadas o azuladas (Brouillard, 1982).

En cuanto al parámetro b^* (amarillo/azul), ambas infusiones mostraron un aumento general en los valores a lo largo del tiempo, indicando una intensificación de los tonos amarillos o anaranjados. Sin embargo, mientras que la infusión con agua sin acidificar presentó un aumento gradual y sostenido (de 0,16 a 2,18), en la infusión acidificada el incremento fue más marcado en los primeros minutos de infusión (de 0,56 a 2,42 a los 6 minutos), seguido de un ligero descenso hasta 1,74 al final del tiempo de infusión. Este comportamiento podría atribuirse a una extracción más rápida de ciertos pigmentos en condiciones ácidas, seguida de una posible degradación o cambio estructural en los compuestos responsables del color (Ríos et al., 1996; Pérez-López et al., 2015).

Por lo tanto, el pH del medio de infusión ejerce una influencia determinante en el color final de las infusiones de flores de azafrán. Las infusiones en medio ácido (INF-AC) se caracterizan por ser más oscuras, con pronunciados tonos rojizos y una notable presencia de amarillos, especialmente intensos en las fases iniciales de extracción. Por el contrario, las infusiones en agua natural (INC), aunque también se oscurecen con el tiempo, tienden a desarrollar tonos más azulados o violetas, con una menor intensidad inicial de amarillo que aumenta progresivamente. Estas diferencias cromáticas no solo son cruciales para la

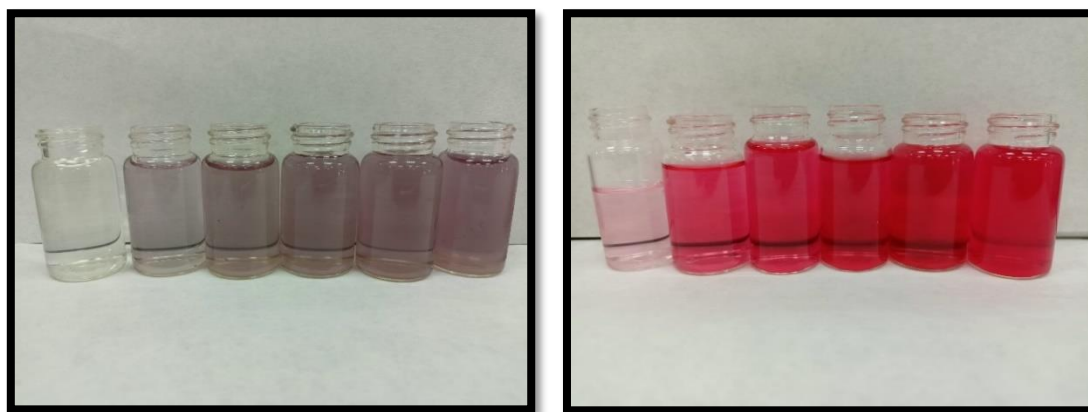
apariencia y aceptabilidad del producto final por parte del consumidor, sino que también reflejan la distinta estabilidad y solubilidad de los pigmentos bioactivos, como las antocianinas y los carotenoides, bajo diferentes condiciones de acidez a lo largo del tiempo de infusión.

Tabla 2

Coordenadas de Color CIE Lab de Infusiones de Flores de Azafrán en Diferentes Condiciones de pH

Parámetros	Tiempo (min)	Muestras	
		Muestra INC	Muestra INF-AC
L*		Muestra INC	Muestra INF-AC
	0	27,93 ± 0,12 b	25,89 ± 0,15 c
	2	26,29 ± 0,14 c	21,84 ± 0,18 b
	4	24,43 ± 0,10 b	21,88 ± 0,15 b
	6	24,42 ± 0,12 b	22,79 ± 0,16 b
	8	23,76 ± 0,15 a	21,62 ± 0,14 a
a*	10	22,68 ± 0,13 a	22,68 ± 0,17 a
	0	-1,18 ± 0,12 a	3,56 ± 0,21 b
	2	-0,66 ± 0,13 a	3,37 ± 0,19 b
	4	-0,82 ± 0,10 a	3,21 ± 0,16 a
	6	-0,75 ± 0,12 a	3,47 ± 0,21 a
	8	-0,89 ± 0,15 a	2,76 ± 0,24 a
b*	10	-0,98 ± 0,13 a	2,36 ± 0,18 a
	0	0,16 ± 0,14 a	0,56 ± 0,15 a
	2	1,23 ± 0,16 b	1,95 ± 0,18 b
	4	1,29 ± 0,12 b	2,06 ± 0,15 b
	6	1,70 ± 0,13 c	2,42 ± 0,16 c
	8	1,97 ± 0,18 d	2,17 ± 0,14 c
	10	2,19 ± 0,14 e	1,74 ± 0,17 d

Media ± desviación estándar (n=3) en la misma columna seguidas de diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para una misma muestra a lo largo del tiempo de infusión. INC: infusión de flores de azafrán s con agua sin acidificar. INF-AC: infusión de flores de azafrán con agua acidificada



Figuras 3 y 4. Muestras INC Y INF-AC a los diferentes tiempos de 0, 2, 4, 6, 8 y 10 min.

4.3 Resultados de la capacidad antioxidante de las infusiones

4.3.1 Método DPPH

La capacidad antioxidante de las infusiones, determinada mediante el método DPPH, mostró un comportamiento dependiente del tiempo y del tipo de agua empleada (acidificada y sin acidificar). En ambas muestras se observó un aumento progresivo de la capacidad antioxidante durante los primeros minutos de infusión, lo que refleja una mayor extracción de compuestos antioxidantes desde las flores de *Crocus sativus* L. hacia el medio acuoso. Sin embargo, la infusión preparada con agua acidificada (INF-AC) alcanzó valores más elevados, llegando a un máximo de 2003.34 mmol TE/100 mL a los 8 minutos, mientras que la muestra elaborada con agua sin acidificar (INC) presentó su valor máximo de 1662.66 mmol TE/100 mL a los 6 minutos (Tabla 3). Estas diferencias sugieren que un pH más ácido puede favorecer tanto la solubilidad como la estabilidad de compuestos bioactivos como los flavonoides o carotenoides presentes en las flores de azafrán (Dai & Mumper, 2010; Liu et al., 2008; Pérez-López et al., 2015). Sin embargo, en ambas muestras, se observó una disminución de la capacidad antioxidante a los tiempos posteriores de infusión (8 y 10 minutos en INC, y 10 minutos en INF-AC), lo cual podría deberse a procesos de degradación térmica u oxidación de los antioxidantes en contacto prolongado con el agua caliente (Liu et al., 2008).

4.3.2 Método ABTS

La capacidad antioxidante de las infusiones de flores de azafrán, evaluada mediante el método ABTS, mostró un comportamiento variable a lo largo del tiempo y en función del pH del agua utilizada. En general, ambas muestras experimentaron un aumento en la capacidad antioxidante durante los primeros minutos de infusión, reflejando la extracción progresiva de compuestos antioxidantes. La muestra preparada con agua sin acidificar (INC) alcanzó un valor máximo más alto, de 7881.09 mmol TE/100 mL a los 4 minutos, seguido por una disminución significativa en los tiempos posteriores (6, 8 y 10 minutos). Este descenso podría atribuirse a la posible degradación u oxidación de los antioxidantes en el medio o a una saturación del sistema, que limita la eficiencia de extracción en etapas avanzadas (Gülçin, 2011; Rice-Evans, Miller & Paganga, 1997). Por otro lado, la muestra con agua acidificada (INF-AC) mostró una capacidad antioxidante relativamente estable durante los primeros 4 minutos, lo que indica que el pH ácido pudo favorecer la estabilidad inicial de los antioxidantes durante la infusión (Dai & Mumper, 2010; Pérez-López et al., 2015). Sin embargo, a partir de los 6 minutos, también presentó una disminución progresiva en la capacidad antioxidante, probablemente debido a la degradación de los compuestos en el entorno ácido (Nawirska & Kwasniewska, 2005). Aunque el valor máximo de la muestra INF-AC fue menor que el de la INC, la mayor estabilidad temporal sugiere que el pH ácido puede reducir la tasa de degradación de los antioxidantes en las etapas iniciales, aunque no impide la disminución a largo plazo (Friedman, 2014; Dai & Mumper, 2010). En conjunto, estos resultados indican que el pH ácido ejerce un efecto dual sobre la capacidad antioxidante de las infusiones, equilibrando una mayor estabilidad inicial con un valor máximo inferior en comparación con el agua sin acidificar (Perez-Jimenez & Saura-Calixto, 2006; Sakanaka, Tachibana & Okada, 2005).

4.3.3 Resultados de polifenoles totales en las infusiones

Respecto al contenido en polifenoles totales en las diferentes infusiones, se observó una tendencia general de aumento continuo desde el tiempo 0 hasta los

10 minutos, alcanzando concentraciones finales de 137.55 mg GAE/100 mL de muestra seca en la Muestra INC y de 167.40 mg GAE/100 mL de muestra seca en la Muestra INF-AC. Este aumento progresivo puede indicar una liberación sostenida de compuestos fenólicos desde las flores de azafrán, los cuales se disuelven gradualmente en el agua durante el proceso de infusión, lo que da lugar a una mayor concentración a medida que transcurre el tiempo. En el caso del agua sin acidificar, estos compuestos tienden a ser estables, permitiendo una acumulación constante en la infusión. Por otro lado, el pH ácido también influye en la solubilidad y estabilidad de los compuestos fenólicos; la presencia de ácido puede favorecer la extracción desde las flores, resultando en una concentración más elevada (Dai & Mumper, 2010). Aunque los valores máximos de contenido fenólico son más altos en la muestra acidificada, ambas muestran un patrón común de aumento continuo, lo que sugiere que el pH ácido no solo mejora la eficiencia de extracción, sino que también ayuda a mantener la estabilidad de los compuestos fenólicos durante un tiempo prolongado. La acidez puede facilitar la ruptura de las paredes celulares, la liberación de polifenoles unidos a la matriz o su mayor estabilidad en solución (Dai & Mumper, 2010).

Tabla 3

Capacidad antioxidante y polifenoles totales en las infusiones de flores de azafrán determinada mediante los métodos DPPH, ABTS y Folin-Ciocalteu

Métodos	Tiempo (min)	Muestras	
		Muestra INC	Muestra INF-AC
DPPH	0	787.58 ± 20.04 a	867.74 ± 10.02 a
	2	837.68 ± 26.51 a	1238.48 ± 36.12 b
	4	1038.08 ± 10.02 b	1345.36 ± 46.28 b
	6	1662.66 ± 68.20 c	1599.20 ± 10.02 c
	8	954.58 ± 28.29 b	2003.34 ± 60.39 c
	10	914.50 ± 20.85 b	1375.42 ± 20.85 b
ABTS	0	2552.11 ± 62.78 a	1718.33 ± 0.00 a
	2	3458.40 ± 108.75 b	1754.58 ± 62.78 a
	4	7881.09 ± 166.12 c	1863.33 ± 62.78 a
	6	3494.65 ± 166.12 b	1029.55 ± 62.78 b
	8	2189.60 ± 125.57 a	848.29 ± 108.75 b
	10	920.79 ± 62.78 d	558.27 ± 62.78 c
Polifenoles Totales	0	56.64 ± 1.36 a	67.64 ± 2.83 a
	2	116.60 ± 6.86 b	121.05 ± 17.49 b
	4	124.98 ± 2.74 b	118.96 ± 2.97 b
	6	135.19 ± 2.83 c	159.54 ± 4.90 c
	8	131.53 ± 2.26 c	157.71 ± 1.81 c
	10	137.55 ± 2.07 c	167.40 ± 2.07 c

Media ± desviación estándar (n=3) en la misma columna seguidas de diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para una misma muestra a lo largo del tiempo de infusión. INC: infusión de flores de azafrán s con agua sin acidificar. INF-AC: infusión de flores de azafrán con agua acidificada

5. CONCLUSIÓN

Este trabajo ha demostrado el significativo potencial de las flores de azafrán (*Crocus sativus* L.), un subproducto agrícola, para su revalorización en la producción de infusiones funcionales. Los resultados obtenidos confirman que tanto el pH del medio de infusión como el tiempo de extracción son factores críticos que influyen directamente en las características fisicoquímicas, cromáticas, el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante de las infusiones. La acidificación con ácido cítrico mejoró la capacidad antioxidante y la extracción de polifenoles, especialmente entre los 6 y 8 minutos de infusión, donde se alcanzaron las concentraciones máximas. Además, el pH ácido resultó en infusiones con una mayor concentración de sólidos solubles y con tonalidades rojizas más pronunciadas. En contraste, las infusiones preparadas en agua sin acidificar (INC), que resultaron en tonos más violetas o azulados. Estos hallazgos son fundamentales para el diseño y desarrollo de infusiones innovadoras a partir de flores de azafrán, permitiendo la optimización de las condiciones de procesamiento para maximizar la extracción de compuestos bioactivos. La capacidad de transformar un residuo agrícola en un producto de valor añadido no solo pone de manifiesto el potencial de las flores de azafrán en la salud y la alimentación, sino que también respalda los principios de la economía circular y la sostenibilidad en la industria agroalimentaria. Para futuros estudios, será fundamental caracterizar los polifenoles específicos responsables de los cambios observados en el color y la actividad antioxidante, así como realizar un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad y preferencia del consumidor hacia estas nuevas infusiones.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Ratz-Łyko, A., Arct, J., & Król, A. (2015). Functional foods and their role in health promotion. *Journal of Functional Foods*, 18, 456–468.
2. Zeinali, M., Ghaedi, E., & Hosseini, S. (2019). Functional beverages: Health benefits and development trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2321–2334.
3. Yang, X., Zhao, M., Zhao, Q., & Zhou, J. (2019). Bioactive compounds in herbal infusions: Their health benefits and bioavailability. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 237–244.
4. Gülçin, İ. (2020). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 94(9), 2603–2645
5. Koh, E., Kim, J., & Lee, J. (2021). Functional herbal teas: Health benefits and potential applications. *Journal of Functional Foods*, 85, 104610.
6. Cao, H., Jia, Q., Sun, M., & Zhang, Y. (2020). Plant-based functional infusions: Bioactive compounds and health benefits. *Journal of Functional Foods*, 72, 104044.
7. ang, X., Zhao, M., Zhao, Q., & Zhou, J. (2019). Bioactive compounds in herbal infusions: Their health benefits and bioavailability. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 237–244.
8. Bukhari, S. N. A., Nazir, M., Sultan, M. T., Butt, M. S., & Ahmad, A. (2022). Bioactive compounds from *Crocus sativus* flowers and their potential health benefits. *Phytotherapy Research*, 36(3), 1230–1242.
9. Caballero-Ortega, H., Martínez-Castilla, L. P., & Carrasco-Sánchez, V. (2022). Aromatic profile and potential applications of *Crocus sativus* floral extracts in the food industry. *Food Chemistry*, 375, 131887
10. Cardone, L., Esposito, A., & Di Matteo, V. (2020). Phytochemical composition and antioxidant activity of saffron (*Crocus sativus* L.) floral by-products. *Antioxidants*, 9(12), 1184.
11. D'Archivio, M., Filomeni, G., & Gaetano, C. (2023). Anti-inflammatory and immune-modulatory effects of *Crocus sativus* flower extracts: Potential applications in chronic disease prevention. *Nutraceuticals and Functional Foods*, 15, 45–62.
12. Ghorbani, A., Jafarzadeh, L., & Rezaei, M. (2020). Polyphenols in *Crocus sativus* floral parts: Biological activities and health-promoting effects. *Journal of Medicinal Plants Research*, 14(2), 63–72.

13. Melnyk, J. P., Wang, S., & Marcone, M. F. (2022). The chemistry and biological properties of saffron and its floral residues. *Journal of Functional Foods*, 86, 104729.
14. Ramadan, M. F., Alenyorege, E. A., & Al-Ruwaili, M. (2018). Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* floral extracts: A review. *Food Science and Technology*, 38(1), 1–10.
15. Sánchez-Vioque, R., Rodríguez-López, G., & Fernández-Bolaños, J. (2022). Nutraceutical potential of saffron floral by-products in oxidative stress and immune modulation. *Food Research International*, 156, 111193.
16. Bukhari, S. N. A., Nazir, M., Sultan, M. T., Butt, M. S., & Ahmad, A. (2022). Bioactive compounds from *Crocus sativus* flowers and their potential health benefits. *Phytotherapy Research*, 36(3), 1230–1242.
17. Cerdá-Bernad, D., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-López, C. (2022). Neuroprotective potential of *Crocus sativus* floral extracts: Mechanisms and therapeutic perspectives. *Journal of Ethnopharmacology*, 289, 115042.
18. García-García, A., López-García, F., & Sánchez, M. (2020). Valorization of agricultural by-products: Strategies for sustainable agro-industry development. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123092.
19. López-García, F., Sánchez, M., & García-García, A. (2019). Circular economy in agriculture: Waste management and valorization of by-products. *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 93–101.
20. López-González, C., Pérez, M., & Ruiz, J. (2020). Agro-industrial residues in Spain: Current management and future prospects. *Waste Management*, 102, 49–57.
21. MAPA. (2025). *Plan Nacional Integral de Residuos Agrarios 2025-2030*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España.
22. Ramadan, M. F., Alenyorege, E. A., & Al-Ruwaili, M. (2018). Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* floral extracts: A review. *Food Science and Technology*, 38(1), 1–10.
23. Singletary, K. (2020). Natural colorants in food: Potential and challenges. *Nutrition Today*, 55(3), 118–123.
24. Stanley, D., & Beaumont, H. (2018). Anxiolytic properties of saffron and its constituents: A review of preclinical and clinical studies. *Phytomedicine*, 51, 1–7.

25. Xiong, Q., Liu, S., & Zhang, Y. (2023). Flavonoids from *Crocus sativus* flowers and their antioxidant effects on skin aging. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 22(2), 439–447.
26. Cerdá-Bernad, D., Martínez-Sánchez, A., & Pérez-López, C. (2022). Neuroprotective potential of *Crocus sativus* floral extracts: Mechanisms and therapeutic perspectives. *Journal of Ethnopharmacology*, 289, 115042.
27. Granato, D., Branco, G. F., Nazzaro, F., Cruz, A. G., & Faria, J. A. F. (2020). Functional foods and beverages: Trends and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 60-71.
28. Li, X., Zhou, H., Chen, R., & Guo, X. (2021). Consumption trends and health benefits of tea and herbal infusions: A global perspective. *Food Research International*, 141, 110151.
29. Otálora, A. L., López, E., & Pardo, M. (2021). Herbal infusions as functional beverages: composition, benefits, and processing. *Foods*, 10(5), 1107.
30. Pinazo Momparler, A. (2015). *Bebidas funcionales: estado actual y perspectivas*. Revista de Tecnología de Alimentos, 19(3), 171-182.
31. Qadir, S., Rahman, M., Khan, M., & Ullah, H. (2020). Functional beverages: Nutritional and health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(18), 3112–3125.
32. Ratz-Lyko, A., Arct, J., & Czajka, S. (2015). Antioxidant properties of phenolic compounds from herbal infusions. *Journal of Functional Foods*, 15, 239-247.
33. Sánchez-Vioque, R., López-Martínez, L. X., & Rodríguez-Bernaldo de Quirós, A. (2022). Advances in the valorization of floral by-products for functional beverages. *Molecules*, 27(9), 2784.
34. Vahidi, H., Rohloff, J., & Riedel, K. (2002). Antimicrobial activity of plant extracts used in traditional medicine. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12), 987-995.
35. Zeinali, M., Hashemi, M., & Mousavi, S. (2019). Anti-inflammatory effects of polyphenols in herbal infusions: A review. *Phytotherapy Research*, 33(8), 2035-2047.
36. Guijarro-Díez, C., Marín-Arroyo, M. R., & Sánchez-Mata, M. C. (2017). Organic acids profile in edible flowers and herbal infusions: Influence on flavor and health properties. *Food Chemistry*, 221, 298-304.

37. Hosseini, S., Ghorbani, M., & Moradi, A. (2021). Impact of extraction conditions on phenolic compounds and antioxidant activity of saffron floral by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 199-209.
38. Mahmoudi, R., Kiani, H., & Ebrahimzadeh, M. A. (2020). Extraction kinetics of organic acids in medicinal plant infusions and its effect on bioactive compounds. *Journal of Herbal Medicine*, 21, 100308.
39. Martínez-Tomé, M., Jiménez, A. M., Ruggieri, S., & Rapoport, H. (2011). Soluble solids content and phenolic compounds release during infusion of medicinal plants. *Food Research International*, 44(4), 1064-1070.
40. Pérez-López, A., García-Salas, P., & Martín-Belloso, O. (2015). Influence of acidification on phenolic extraction and stability in herbal infusions. *Food Chemistry*, 168, 78-85.
41. Rodríguez-Solana, R., Pinela, J., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Extraction kinetics of bioactive compounds and antioxidant capacity of herbal infusions. *Food Chemistry*, 275, 216-223.
42. Hashemi Gahruie, H., Jafarpour, D., & Jafari, S. M. (2017). Effect of extraction time on physicochemical properties and antioxidant capacity of saffron flower extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1055–1063.
43. Martínez-Tomé, J., Murcia, M. A., Jiménez, A. M., & Maestre, J. M. (2001). Colour stability of anthocyanins in acid solutions as affected by chemical structure and temperature. *Food Research International*, 34(6), 551–556.
44. Brouillard, R. (1982). Chemistry of Anthocyanins. In J. B. Harborne & C. T. Williams (Eds.), *The Flavonoids* (pp. 1–22). Springer.
45. Ríos, J. J., Morales, P., & Hernanz, D. (1996). Colour changes and anthocyanin stability in grape juice extracts as affected by pH, temperature and sulphur dioxide. *Food Chemistry*, 57(1), 47–53.
46. Pérez-López, C., Carretero, A. S., & Palma, M. (2015). Effect of acidification and time of infusion on bioactive compounds of herbal teas: A case study of chamomile and peppermint infusions. *Food Chemistry*, 171, 401–406.
47. Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
48. Liu, R. H., Sun, J., & Sun, C. (2008). Thermal degradation and kinetic modeling of flavonoids and carotenoids in food. *Food Chemistry*, 107(1),

- 83–90.
49. Pérez-López, C., Carretero, A. S., & Palma, M. (2015). Effect of acidification and time of infusion on bioactive compounds of herbal teas: A case study of chamomile and peppermint infusions. *Food Chemistry*, 171, 401–406.
 50. Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
 51. Friedman, M. (2014). Antioxidant activity of plant extracts and their possible effects on oxidative damage in foods and biological systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 7875–7890.
 52. Gülçin, İ. (2011). Antioxidant activity of food constituents: an overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345–391.
 53. Nawirska, A., & Kwasniewska, M. (2005). The content of total phenolics and flavonoids in fruit, vegetable and cereal based food products. *Food Chemistry*, 93(2), 253–260.
 54. Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2006). Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21), 7906–7910.
 55. Pérez-López, C., Carretero, A. S., & Palma, M. (2015). Effect of acidification and time of infusion on bioactive compounds of herbal teas: A case study of chamomile and peppermint infusions. *Food Chemistry*, 171, 401–406.
 56. Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152–159.
 57. Sakanaka, S., Tachibana, Y., & Okada, Y. (2005). Preparation and antioxidant properties of extracts of Japanese persimmon leaf tea (kakinoha-cha). *Food Chemistry*, 89(4), 569–575.
 58. Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.