

**Revisión de compuestos bioactivos en frutas y vegetales de color morado
de la región andina: implicaciones para la salud y la nutrición, con enfoque en
procesos biotecnológicos**

Beatriz M. Orozco Coneo

Asesor

Ginna Alejandra Ordóñez Narvaez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de Maestría en Biotecnología Alimentaria

Diciembre de 2025

Declaración de derechos de propiedad intelectual

Los autores la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a: Dios, mi padre celestial y terrenal, mi creador, quien me ha dado todo lo que tengo, incluyendo la inteligencia y sabiduría, para este gran logro. Agradezco a mi familia, porque han sido una compañía de lejos y de cerca, una razón para continuar todos los procesos que he emprendido; a mi compañero de vida y a mis amigos, por sus buenos deseos y por su compañía en los momentos difíciles.

*Mira que te mando que te esfuerces y seas
valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios
estará contigo en donde quiera que vayas.*

Josue 1:9.

Resumen

El presente trabajo ofrece una descripción sistemática de los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color azul-morado de la región Andina, principalmente las siguientes: Maíz morado (*Zea mays*), Papa morada (*Solanum tuberosum ssp andigena*), Repollo Morado o Lombarda (*Brassica oleracea var*), Mora Andina (*Rubus glaucus*), Cebolla morada (*Allium cepa*), y su contribución como alimentos funcionales en el contexto de la seguridad alimentaria. Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de artículos científicos originales en diferentes bases de datos, consultando estudios de los últimos 6 años en español, inglés y portugués, ampliando la búsqueda no inferior a 2001. Se emplearon palabras clave validadas en DeCS y MeSH para identificar los compuestos bioactivos en los vegetales de color azul-morado específicamente de la región Andina de Colombia. Se realizó un análisis bibliométrico de los artículos encontrados, clasificándolos por temas de interés, autores y fechas de publicación, con el objetivo de explorar y comprender los diversos compuestos bioactivos presentes en los vegetales de color azul-morado de la región Andina. Los resultados de la revisión revelaron la presencia de antocianinas en los vegetales de color azul-morado como el maíz azul, papa azul, repollo morado, berenjena, cebolla morada y moras o zarzamoras en la región Andina. Estas antocianinas, no solo cumplen una función como colorantes naturales en la industria, sino que también ofrecen propiedades antioxidantes que pueden ayudar a reducir el estrés oxidativo y el riesgo de enfermedades. Los compuestos bioactivos presentes en las frutas y vegetales de color azul-morado de la región Andina, así como en productos derivados de procesos biotecnológicos, como son la fermentación para la producción de colorantes y aditivos a partir de uvas, arándanos y col morada, utilizando microorganismos para fermentar, tales como *Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia spp*, también en la obtención de probióticos y prebióticos, a partir de fibra de frutas como uvas y moras, procesos fermentativos a partir de pulpa de ciruelas, moras y uvas, para aprovechar sus compuestos bioactivos como las antocianinas, que cumplen una función tanto en la industria, como en la salud, ofreciendo propiedades antioxidantes que pueden ayudar a reducir el estrés oxidativo y el riesgo de enfermedades.

Palabras Clave: Antioxidantes, fitonutrientes, maíz morado, papa azul, antocianinas, procesos biotecnológicos - Salud y Nutrición.

Abstract

The present work offers a systematic description of the bioactive compounds present in blue-purple fruits and vegetables from the Andean region, mainly the following: Purple corn (*Zea mays*), purple potato (*Solanum tuberosum ssp. andigena*), red cabbage or Lombard cabbage (*Brassica oleracea var*), Andean blackberry (*Rubus glaucus*), red onion (*Allium cepa*), and their contribution as functional foods in the context of food security. An exhaustive search for original scientific articles was carried out in different databases, consulting studies from the last 5 years in Spanish, English and Portuguese, expanding the search to no earlier than 2001. Keywords validated in DeCS and MeSH were used to identify bioactive compounds in blue-purple vegetables specifically from the Andean Region of Colombia. A bibliometric analysis of the articles found was carried out, classifying them by topics of interest, authors and publication dates, with the aim of exploring and understanding the various bioactive compounds present in blue-purple vegetables from the Andean region. The role of biotechnological processes in optimizing the extraction and conservation of these compounds is also analyzed, as well as in enhancing their nutritional benefits. The results of the review revealed the presence of anthocyanins in blue-purple vegetables such as blue corn, blue potatoes, purple cabbage, eggplant, red onion and blackberries in the Andean region. These anthocyanins, in addition to being used in industry as natural colorants, have antioxidant properties that fight free radicals, thus contributing to the reduction of oxidative stress and the risk of diseases. The bioactive compounds present in blue-purple fruits and vegetables from the Andean region, as well as in products derived from biotechnological processes, such as fermentation for the production of colorants and additives from grapes, blueberries and cabbage purple, using microorganisms to ferment, such as *saccharomyces cerevisiae*, *Pichia spp*, also in obtaining probiotics and prebiotics, from fiber of fruits such as grapes and blackberries, fermentative processes from the pulp of plums, blackberries and grapes, to take advantage its bioactive compounds such as anthocyanins, which play a role both in industry and in health, offering antioxidant properties that can help reduce oxidative stress and the risk of diseases.

Keywords: Antioxidants, phytonutrients, purple corn, blue potato, anthocyanins, biotechnological processes - Health and Nutrition.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del problema.....	14
Justificación	19
Objetivos.....	23
Objetivo general	23
Objetivos específicos.....	23
Metodología	24
Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado a nivel global.....	30
Panorama Global.	30
Factores que pueden afectar la estabilidad de las antocianinas.	35
Los compuestos Fenólicos. (CF).	39
Los Flavonoides.....	41
Antioxidante.	41
El tono morado de los alimentos.	42
Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado de la región Andina (RA).	45
Región Andina de Suramérica (RAS).	45
Cinco vegetales de color morado, más cultivados en la región Andina excluyendo los arándanos.....	46
Maíz morado (Zea mays).....	46
Papa morada (Solanum tuberosum ssp andigena).	49
Repollo Morado o Lombarda. (Brassica oleracea var).....	52
Mora Andina. (Rubus glaucus).....	53
Cebolla morada. (Allium cepa).	55
Otros frutos y vegetales de color morado cultivados en la región Andina.	58

Propiedades funcionales Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado en la prevención de enfermedades.....	61
Compuestos bioactivos en la prevención de enfermedades (PVE).....	61
Alimentos Funcionales.....	62
Educación Alimentaria y nutricional –(EAN).....	64
Capítulo 4.....	¡Error! Marcador no definido.
Procesos biotecnológicos aplicados a Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado y su relación con la capacidad funcional.....	68
Impacto de los Procesos Biotecnológicos en los Compuestos Bioactivos.....	68
Antocianinas en la industria alimentaria.....	70
Utilizando los recursos genéticos.....	71
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	77
Referencias bibliográficas.....	79

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Estructura molecular de antocianinas	34
Ilustración 2. Estructura del grupo hidroxilo	40
Ilustración 3. Proceso de Hidroxilación.....	42
Ilustración 4. Frutas y vegetales morados más cultivados en la región Andina.	46
Ilustración 5. Maíz Morado (<i>Zea mays</i>)	47
Ilustración 6. Papa morada (<i>Solanum tuberosum ssp andigena</i>).	49
Ilustración 7. (<i>Brassica oleracea var</i>).....	52
Ilustración 8. Mora silvestre (<i>Rubus glaucus</i>)	54
Ilustración 9. Cebolla morada (<i>Rubus glaucus</i>).....	56

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen formulación de preguntas.....	27
Tabla 2. Resumen contenido de compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color morado más cultivados en la Región Andina, según estudios de la productividad científica entre los años 2015-2023	57

Lista de Abreviaturas

ARN: ácido ribonucleico, molécula esencial para la vida que ayuda a sintetizar proteínas y también es el material genético de algunos virus.

CB: Compuestos Bioactivos

CF: Compuestos Fenolicos

CPT: contenido de polifenoles totales

DPPH y ABTS: son dos reactivos químicos utilizados en métodos de ensayo para medir la capacidad antioxidante de una sustancia.

DPPH: Se utiliza comúnmente para medir la capacidad antioxidante de otras sustancias, ya que reacciona con ellas donando un electrón o un átomo de hidrógeno, lo que provoca un cambio de color.

EAG: miligramos de equivalente de ácido gálico por cada 100 gramos de muestra.

EAN: Educacion alimentaria y nutricional

FYVCM: Frutas y vegetales color Morados

HDL: lipoproteínas de alta densidad

HPLC: Cromatografía Líquida de Alta Resolución. una técnica analítica que se utiliza para separar, identificar y cuantificar los componentes de una mezcla líquida.

KAEMPFEROL-3-O-GLUCÓSIDO: es un compuesto natural que pertenece a la familia de los flavonoides y se caracteriza por la unión de una molécula de kaempferol (un tipo de flavonol) y una molécula de glucosa.

LDL: lipoproteínas de baja densidad

NMR: Resonancia Magnética Nuclear

NG/100 MG: Nanogramos por cada 100 mg

(P/P): Porcentaje peso a peso

(PF): Peso fresco

PVE: Prevencion de enfermedadesegion Andina

PAP2 y MYBL2: son dos proteínas que trabajan juntas en la regulación del ciclo celular y la biosíntesis de otros compuestos, como las proantocianidinas en plantas. PAP2 actúa como represor de MYBL2, activándolo indirectamente al interrumpir el complejo regulador principal, lo que a su vez suprime la expresión de genes involucrados en la biosíntesis de proantocianidinas.

QUERCETINA-3-B-D-GLUCÓSIDO: es una molécula que combina el flavonoide quercetina con una unidad de glucosa

RA: Region Andina

RAS: Region Andina de Suramerica

WGCNA: Análisis de Red de Coexpresión Genética Ponderada. s un método computacional para analizar datos de expresión génica (como de transcriptómica) con el fin de identificar grupos de genes que se expresan de manera similar y se agrupan en módulos.

Introducción

El creciente interés en los beneficios para la salud de los alimentos de origen vegetal ha puesto en primer plano el estudio de los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales. (Bacca Narváez & España Muñoz, 2024). En particular, los productos de color morado-azul, como las moras, arándanos, berenjenas y uvas, se destacan por su riqueza en antocianinas y otros fitoquímicos con potenciales efectos positivos sobre la salud. Estos compuestos no solo contribuyen al color vibrante de estos alimentos, sino que también poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas, entre otras. (Ayoub, McDonald, Sullivan, Tsao, Platt, Simpson, & Meckling, 2017).

En la región Andina, una zona con una biodiversidad única y una tradición agrícola rica, estas frutas y vegetales morado-azul tienen una presencia significativa tanto en la dieta local como en la cultura alimentaria. (Rodríguez, 2020). Sin embargo, el potencial de estos productos no siempre se ha explotado completamente, debido a la falta de estudios integrales que aborden tanto su composición bioquímica como sus aplicaciones prácticas. (Rabanal-Atalaya & Medina-Hoyos, 2021).

Este análisis se enfoca en los compuestos bioactivos presentes en las frutas y vegetales morado-azul de la región Andina de Sur América (RAS), explorando sus implicaciones para la salud y la nutrición. Además, se examina el papel de los procesos biotecnológicos en la optimización de la extracción y conservación de estos compuestos, así como en la mejora de sus beneficios nutricionales. La combinación de conocimientos tradicionales con técnicas modernas ofrece una oportunidad única para potenciar el valor nutricional de estos alimentos y promover su uso en estrategias de salud pública y desarrollo sostenible. (Martínez-Navarrete, Camacho, & Martínez, 2021).

A través de esta investigación, se busca proporcionar una visión integral sobre cómo los compuestos bioactivos en estos alimentos pueden ser aprovechados para mejorar la salud y la nutrición, y otro aspecto muy relevante es, explorar los procesos biotecnológicos aplicados en frutas y vegetales de color morado, y cómo la biotecnología puede facilitar el aprovechamiento de los compuestos bioactivos presentes en dichos frutos y vegetales, y así contribuir al bienestar general.

Planteamiento del Problema

Los hábitos alimenticios arraigados a las tradiciones y la cultura tienen un impacto significativo en la calidad de vida de las personas. Sin embargo, muchos de estos hábitos no se alinean con una dieta saludable que promueva una mejor calidad de vida. (ENSIN, 2015). A pesar de que los hábitos y costumbres forman parte de la identidad de los pueblos, es necesario encontrar un equilibrio entre lo autóctono y lo beneficioso para la salud. (Guzña y Paca & Castillo Dávila, 2023). El desconocimiento de los alimentos disponibles y la falta de educación alimentaria, son factores que contribuyen al uso inadecuado de los alimentos y a decisiones de consumo poco saludables. (ENSIN, 2015). La falta de educación alimentaria y nutricional limita el uso adecuado de los alimentos, afectando los estilos de vida saludables. Además, no se difunde suficiente información sobre los nutrientes de ciertos alimentos, incluyendo productos cultivados en zonas específicas de los países, que permanecen desconocidos, ya que las autoridades no publican datos sobre sus áreas de cultivo, comercialización ni consumo, tales como el olluco morado (*Ullucus Tuberosus*). (Guzña y Paca & Castillo Dávila, 2023). Un tubérculo similar a la papa, rico en antioxidantes y cultivado en zonas de Perú, Bolivia y Ecuador; la mora silvestre (*Rubus glaucus*) o zarzamora andina es una planta de la familia Rosaceae, nativa de los Andes de Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia (Salcedo, (2019).

El conocimiento limitado sobre las antocianinas presentes en alimentos de color azul-morado y sus posibles beneficios para la salud, podría influir en la percepción de los consumidores respecto a estos productos. (Amaro, 2016). Por ejemplo, algunos consumidores podrían mostrar menor aceptación hacia el color azul en los alimentos, ya que, en ciertos casos, se asocia con sensaciones de peligro, intolerancia o incluso con un sabor amargo. (Casafranca, 2023). Algunos autores consideran que es, sobre todo, una cuestión de educación, pues a muchos niños les gusta el color azul, en los postres congelados tales como helados. Se tiene la creencia que los niños son más abiertos a consumir alimentos inusuales, y que estos colores pueden despertar su interés por que el conocimiento o educación acerca de los alimentos, todavía no está desarrollado en ellos como lo está en los adultos. (Freund, 2022).

En el panorama internacional se ha podido revisar que, en los últimos años, diversos estudios realizados en países como Japón y China, han destacado el valor nutricional y las propiedades beneficiosas para la salud de los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color morado. (Suzauddula et., 2024). Estos alimentos, ricos en antocianinas, flavonoides y otros antioxidantes, han sido ampliamente investigados por su capacidad para prevenir enfermedades cardiovasculares, mejorar la salud metabólica y reducir el riesgo de ciertos tipos de cáncer. En dichos países, la evidencia científica ha impulsado el consumo. (Singh et.,2019).

Según Rabanal y Medina (2021), en la región Andina existen frutas y vegetales morados autóctonos, como las papas nativas, el maíz morado y las moras, que tienen un perfil bioactivo similar o incluso superior al de productos estudiados en otras regiones, aunque su potencial aún está subutilizado debido a la falta de investigación local que valide científicamente sus beneficios. En la región Andina se hallan una serie de instrumentos jurídicos aprobados por los parlamentarios andinos de Bolivia, Chile, Aunque, no hace énfasis en los compuestos bioactivos que pueden estar presentes en los productos propios de la región Andina de Suramérica, Colombia, Ecuador y Perú, denominados marcos normativos cuentan con el documento aprobado para la Seguridad Alimentaria con calidad nutricional y respeto a las políticas de soberanía alimentaria de los Estados miembros, y consagra a la educación como una herramienta transversal, para promover hábitos alimentarios y patrones de consumo sanos. (Parlamento Andino, 2017).

Según informes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en Colombia, (IGAC, 2022), demuestran que hay pocos datos sobre cantidad de áreas cultivadas de papa azul, o de repollo morado, de maíz azul, también se considera poca su comercialización y consumo, lo poco que se conoce es que los cultivos de estos productos, básicamente se destinan en Colombia al autoconsumo. Aunque en la región Andina de Colombia, se cultiva una amplia variedad de alimentos, incluyendo aquellos de color azul- morado, como el maíz capia morado (*Zea mays*) y la papa azul (*Solanum tuberosum ssp andigena*), hay una limitada difusión de los compuestos bioactivos de estas frutas y vegetales de color azul-morado, (GABAs, 2018), así como de los beneficios que representan para la salud, los cuales han mostrado propiedades nutricionales y antioxidantes, compuestos bioactivos importantes, por ejemplo, Glicocalcoides

(*Solanina* y *chaconina*), para la prevención de enfermedades, según estudios realizados en otros países (León et al., 2020; Rojas et al., 2018). Por otro lado, el procesamiento de los alimentos se queda corto en ciertos avances, tales como los procesos biotecnológicos, así como la divulgación de los componentes de estos alimentos, y así alcanzar el protagonismo que deberían tener. (Falcones, Delgado & Cevallos, 2024). Evidentemente, ciertos frutos como el arándano, y otros alimentos de la región Andina (papa de color morado -azul, maíz de color morado -azul y repollo morado), contienen antocianinas y otros componentes importantes, sin embargo, de estos últimos, su consumo es más limitado y no hacen parte de la canasta familiar, mientras que los arándanos son mayormente promocionados pese a que la disponibilidad de este fruto en Colombia depende en gran parte de las importaciones. (ENSIN, 2015).

Como ya se ha mencionado, en muchas regiones de Colombia, se cultivan alimentos que aportan considerables sustancias para beneficio de la salud, tales como el corozo (*Bactris guineensis*), la mora andina (*Rubus glaucus*), ullucos morados (*Ullucus tuberosus* Caldas), agraz silvestre (*Vaccinium meridionale*), (IGAC, 2022), no obstante, los habitantes de la zona desconocen tales beneficios, es por ello que “la educación alimentaria se considera un elemento importante para la subsistencia de la familia y de las poblaciones”. (Estrategia IEC SAN EAN, 2020). Basados en los resultados de la encuesta de la situación nutricional realizada en el año 2015, Colombia se enfrenta a una alta prevalencia de inseguridad alimentaria, especialmente en el área rural, donde más del 60% de los hogares experimentan inseguridad alimentaria. Esto refleja las brechas existentes en la salud alimentaria y nutricional del país. (ENSIN, 2015). El maíz morado y la papa azul, cultivos ancestrales de los Andes colombianos, son una fuente invaluable de antioxidantes. Lamentablemente, a pesar de sus propiedades benéficas, existe un desconocimiento generalizado sobre sus componentes y un subdesarrollo en la investigación biotecnológica, lo que limita su aprovechamiento. (Andache, 2018).

En 2021 se publicó en Colombia la resolución 810 (Minsalud, 2021), la cual busca mejorar el etiquetado nutricional y frontal de advertencia en los alimentos envasados para brindar información clara al consumidor al momento de elegir productos; y la resolución 2492 (2022), que modifica algunos artículos de la anterior. Sin embargo, esta resolución ha sido poco divulgada, lo que indica una falta de promoción de alimentos

saludables. Sería ideal que todos los productos, cuando aplique, incluyeran en la etiqueta el contenido de compuestos bioactivos tales como antocianinas, llevando al interés del consumidor, sus beneficios.

Existe en Colombia un documento denominado “propuesta de canasta básica de alimentos saludables, con énfasis en la región Andina”, convirtiéndola en una herramienta didáctica y pedagógica para la sociedad, sin embargo, este no detalla los productos de color azul-morado ni la importancia de sus componentes. (Educar consumidores, 2018).

Los compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color morado-azul entre ellos antocianinas, flavonoides y otros fitoquímicos con propiedades potencialmente beneficiosas para la salud, han sido asociados con una variedad de efectos positivos, tales como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, (Zhao et al., 2021), el fortalecimiento del sistema inmunológico y la mejora de la salud cognitiva. Existe evidencia científica sobre los niveles específicos y la actividad biológica de estos compuestos en los productos originarios de la región Andina, siendo limitada su difusión. (Zilong et al., 2021).

En cuanto a los procesos biotecnológicos aplicados a frutas y vegetales de color morado -azul, estos pueden ofrecer soluciones innovadoras para maximizar el valor nutricional y la estabilidad de estos compuestos bioactivo. (Georgiev & Clément, 2020). Sin embargo, el uso de técnicas biotecnológicas para mejorar la extracción, conservación y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos en estas frutas y vegetales no ha sido suficientemente explorado en el contexto de la región Andina Suramericana. (Bellumori, et al., 2019) (Silva et al., 2020).

Este planteamiento del problema se centra en la necesidad de una revisión exhaustiva de los compuestos bioactivos presentes en las frutas y vegetales morado-azul de la región Andina de Suramerica. Se busca comprender las variaciones en su perfil bioquímico, evaluar sus implicaciones para la salud y la nutrición, y explorar el impacto de los procesos biotecnológicos en la optimización de estos compuestos. Se pretende tener un enfoque integrado y bien fundamentado de los compuestos bioactivos para promover estrategias de salud pública y desarrollo sostenible basadas en el potencial de

los alimentos de color morado. Por lo anterior, es crucial realizar una investigación detallada que permita identificar, medir y aprovechar de manera efectiva los beneficios de estos compuestos bioactivos y se plantea un problema de desconocimiento y falta de aprovechamiento de los recursos naturales disponibles, y los beneficios para la salud, por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación para este proyecto de monografía:

¿Cuáles son los compuestos bioactivos y sus beneficios, presentes en las frutas y vegetales de color azul-morado más comunes cultivados en la región Andina de Suramérica y el impacto de la aplicación de procesos biotecnológicos en estos alimentos?

Justificación

La inseguridad alimentaria, definida como la falta de acceso regular a alimentos seguros, nutritivos y suficientes para satisfacer las necesidades alimentarias y las preferencias dietéticas, constituye uno de los mayores desafíos globales. (Conpes 113, 2008) y (ODS, 2015-2030). Esta problemática se agrava por factores como el crecimiento demográfico, el cambio climático, la degradación de los suelos, falta de recursos económicos y deficiente educación nutricional, que ponen en riesgo la producción de alimentos a nivel mundial. (FAO, 2018).

Ante este panorama, la biotecnología y la educación nutricional, emergen como herramientas fundamentales para mejorar el consumo de alimentos con calidad. (Zapata et.,al 2023). Por un lado, la biotecnología ofrece soluciones innovadoras para aumentar la productividad agrícola, desarrollar cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, y mejorar el valor nutricional de los alimentos. (Martínez et al.,2021). Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario, mediante técnicas como la ingeniería genética, es posible obtener variedades de cultivos con mayor contenido de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, esenciales para una dieta saludable. (Alegre, Castro, & Plaza del Moral, 2021). Por otro lado, la educación nutricional desempeña un papel crucial en la promoción de hábitos alimentarios saludables y en la prevención de enfermedades relacionadas con la dieta. Al informar a la población sobre los beneficios de una alimentación equilibrada y variada, se fomenta el consumo de alimentos nutritivos, como las frutas y hortalizas. (Estrategia IEC SAN EAN, 2020).

En este contexto, las frutas y hortalizas azul-morado, ricas en antocianinas, destacan por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y neuro protectoras. (Álvarez, Coronel, & Hurtado, 2021). Estos compuestos bioactivos confieren a estos alimentos un alto valor funcional, es decir, la capacidad de aportar beneficios para la salud más allá de su valor nutricional básico. (Li, et., 2022). Al consumir regularmente este tipo de alimentos, se puede reducir el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y la diabetes.(Jokioja et al., 2021).

La investigación y promoción de frutas y vegetales morados cultivados en la región Andina son necesarias para valorizar estos alimentos tanto a nivel local como internacional (Beed et al., 2021), impulsando el desarrollo de mercados competitivos en Asia y Europa,

donde los compuestos bioactivos se posicionan como alimentos funcionales de alto valor agregado. (ATHENA (2015); en contraste, en la región Andina, alimentos autóctonos como el maíz morado, las papas nativas y las moras, que poseen un perfil nutricional similar o incluso superior, son subvalorados y poco comercializados. Esta situación representa una oportunidad desaprovechada. (Alarcón et al., 2018). La articulación con mercados internacionales permitiría a la región Andina insertarse en una tendencia global hacia el consumo de alimentos funcionales y sostenibles, mejorando las oportunidades económicas para los productores y contribuyendo al desarrollo regional. (Lehm, 2002).

Por otro lado, la promoción del consumo de frutas y hortalizas azul-morado se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con el ODS 2 (Hambre Cero), que según Hernández (2025), busca poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición. Además, contribuye al ODS 3 (Salud y Bienestar), al promover la salud y el bienestar de todas las personas a todas las edades.

La combinación de la biotecnología y la educación nutricional representa una estrategia prometedora para enfrentar el desafío de la inseguridad alimentaria y mejorar la salud de las poblaciones. (Georgiev & Clément, 2020). Al desarrollar cultivos más nutritivos y al promover hábitos alimentarios saludables, se puede contribuir a la construcción de un futuro más sostenible y equitativo. (Hernández, Flores & del Carmen, 2024). Los alimentos funcionales, definidos por la FAO (2018), como aquellos que contienen componentes biológicamente activos que brindan beneficios para la salud más allá de la nutrición básica. Estos conceptos surgieron por Hassler (1.996), como una necesidad para reducir los costos de los seguros de salud en Japón durante la década de 1980, y se espera que el consumo de alimentos funcionales mejore el estado de salud de la población en general. Las frutas y hortalizas con componentes fisiológicamente activos pueden desempeñar un papel efectivo en la lucha contra las deficiencias nutricionales, y contribuir a un mejor estado nutricional de la población (Redagricola, 2017).

El análisis de compuestos bioactivos en frutas y vegetales de color morado-azul de la región Andina, representa una oportunidad única para descubrir y valorizar el patrimonio biocultural de la región. (Lehm, 2002). La alta concentración de antocianinas y otros fitoquímicos en estos alimentos, los posiciona como un recurso invaluable para la salud pública y el desarrollo de productos nutracéuticos innovadores. (Medina-Hoyos et al., 2020).

Al caracterizar estos compuestos, no solo contribuimos a la comprensión de los beneficios para la salud, sino que también abrimos puertas a la creación de nuevos productos y a la generación de valor agregado para los productores locales. (Singh et al., 2019).

La región Andina de Suramérica (RAS), reconocida por su rica biodiversidad y milenaria tradición agrícola, es un tesoro de frutas y vegetales de tonos morados. (Lehm, 2002). Estos alimentos, caracterizados por su alta concentración de compuestos bioactivos como las antocianinas, prometen beneficios significativos para la salud. (Villar, 2022). Sin embargo, falta mayor divulgación de los estudios que detallan su composición química, situación que limita nuestro conocimiento sobre su verdadero potencial nutricional y funcional. (Camargo, 2023). Es importante realizar búsqueda de literatura e iniciar procesos investigativos con el fin de llenar este vacío, y así poder aprovechar al máximo estos recursos naturales, y desarrollar estrategias basadas en evidencia que promuevan la salud y el bienestar de las poblaciones andinas y del mundo. (Rabanal-Atalaya et al., 2021).

La biotecnología ofrece un abanico de herramientas prometedoras para optimizar la extracción, estabilización y biodisponibilidad de las antocianinas presentes en los frutos y vegetales morados de la región Andina. Mediante el empleo de enzimas, microorganismos y técnicas de bioprocesamiento, (Cammareri et al., 2024), sería posible incrementar el rendimiento de los extractos, mejorar su calidad y ampliar sus aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. (Marín & Agudelo, 2023); sin embargo, el potencial de estas tecnologías en la región, aún no ha sido explorado en profundidad, representando una oportunidad única para desarrollar productos innovadores y de alto valor agregado. (Belwal et al., 2020).

Este estudio busca agregar conocimiento importante, al revisar a profundidad los compuestos bioactivos presentes en las frutas y vegetales morado-azul de la región Andina. Al caracterizar su perfil bioquímico, se puede comprender mejor sus beneficios para la salud y desarrollar estrategias efectivas para promover su consumo en la población, contribuyendo así a mejorar la salud pública. Se pretende caracterizar estos compuestos y explorar su potencial para el desarrollo de nuevos productos funcionales y nutracéuticos, además comprender mejor su composición química y sus propiedades biológicas.

No solo se sentarán bases para futuras investigaciones en el campo de la nutrición y la salud, sino que también permitirá a las comunidades andinas aprovechar sus recursos

agrícolas de manera más eficiente. Al mismo tiempo, esta investigación servirá como herramienta para educar a la población sobre los beneficios de los alimentos de color azul-morado, más comunes en la región Andina, fomentando así una alimentación más saludable y diversificada.

Objetivos

Objetivo General

Revisar literatura científica de los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color azul - morado de la región Andina, así como en sus productos derivados de procesos biotecnológicos, con el propósito de evaluar sus implicaciones para la salud y la nutrición.

Objetivos Específicos

Identificar en la literatura científica los estudios realizados en compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color morado a nivel global.

Clasificar los principales estudios relacionados con los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado, de cinco especies vegetales mayormente cultivados en la región Andina de Suramérica.

Establecer el efecto de los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul morado, en la prevención de enfermedades.

Establecer la relación entre los procesos biotecnológicos aplicados a productos derivados de frutas y vegetales de color azul-morado, y la capacidad funcional de los compuestos bioactivos presentes en el producto final.

Metodología

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos científicos originales en diferentes bases de datos, consultando estudios de los últimos 6 años en español, inglés y portugués, de bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS). Se amplió el límite de búsqueda por años, no inferior al 2001, con el fin de comprender cómo han evolucionado los conceptos y tener en cuenta fundamentos más clásicos sobre el tema, especialmente en los 3 primeros capítulos. Se emplearon palabras clave validadas en DeCS y MeSH para identificar los compuestos bioactivos en los vegetales de color azul-morado, inicialmente en el mundo y luego específicamente de la Región Andina. Se realizó una revisión sistemática de los artículos encontrados, clasificándolos por temas de interés, autores y fechas de publicación, con el objetivo de explorar y comprender los diversos compuestos bioactivos presentes en los vegetales de color azul-morado de la región Andina, y en sus productos derivados a partir de procesos biotecnológicos.

Para el desarrollo de las actividades propuestas anteriormente, se utilizaron las siguientes palabras clave Antioxidantes, fitonutrientes, maíz morado, papa azul, antocianinas, procesos biotecnológicos - Salud y Nutrición. Los términos de búsqueda para la consulta fueron los siguientes “Compuestos Bioactivos” OR “Bioactive Compounds”), (“compuestos bioactivos Maíz Azul” OR “Blue Corn bioactive compounds”), (“compuestos bioactivos papa azul” OR “bioactive compounds blue potato”), (“ Antocianinas frutos color azul morado” OR “ Anthocyanins blue-purple fruits”), (“Antocianinas vegetales color azul morado” OR “Purple-blue vegetable anthocyanins”), (“vegetales color azul morado región Andina” OR “purple blue vegetables Andean region”), (“ productos biotecnológicos a partir de vegetales color azul morado industria” OR “ biotechnological products from vegetables blue purple industry”). . También, se realizó una búsqueda de páginas web para identificar posibles estudios no publicados, pero reseñados en Internet.

Instrumentos recolección de datos: Se desarrolló un protocolo con criterios de inclusión y exclusión, para realizar una búsqueda bibliográfica detallada y amplia; los criterios de inclusión fueron los siguientes: Tipo de documento, artículos científicos

originales, artículos de revisión, revisiones sistemáticas, capítulos de libro académicos, publicaciones en revistas arbitradas, periodo de publicación, desde 2001 en adelante

(para incluir avances recientes y literatura fundacional relevante). Idioma, publicaciones en inglés, español, portugués. Región geográfica, estudios realizados en países de la región Andina (Colombia, Perú, Ecuador, Bolivia, Chile, Venezuela). Estudios internacionales que analicen especies andinas o materias primas originarias de esta región. Tipo de alimentos, frutas y vegetales de color morado-azul, tales como: Maíz morado (*Zea mays*), Papa morada (*Solanum tuberosum ssp. andigena*), Mora andina (*Rubus glaucus*), Repollo morado (*Brassica oleracea*), Cebolla morada (*Allium cepa*) y otras especies andinas con pigmentación morado-azul. Tipo de compuestos bioactivos, estudios que analicen específicamente: Antocianinas, Polifenoles, Flavonoides, Compuestos fenólicos. Desde el enfoque temático, las investigaciones que aborden al menos uno de los siguientes aspectos: Propiedades antioxidantes, implicaciones para la salud humana, impacto nutricional, biodisponibilidad de los compuestos, prevención de enfermedades. Desde el enfoque biotecnológico, los estudios que incluyan procesos como: extracción y purificación biotecnológica, fermentación, microencapsulación, procesos enzimáticos, biotransformación, aplicaciones en alimentos funcionales o nutraceuticos.

Criterios de exclusión, se excluyeron los estudios que cumplieran con alguna de las siguientes condiciones: Publicaciones que no abordaran compuestos bioactivos asociados al color morado-azul (por ejemplo, estudios centrados únicamente en macronutrientes). Estudios realizados en frutas o vegetales que no pertenecieran a la región Andina o que no analizaran especies andinas. Investigaciones enfocadas en plantas ornamentales o especies no comestibles; publicaciones que no incluyeran implicaciones para la salud, la nutrición o aplicaciones alimentarias. Estudios que no consideraran procesos biotecnológicos, tecnológicos o de transformación de los compuestos bioactivos. Artículos publicados antes del año 2001, documentos que no fueran artículos científicos, revisiones o capítulos de libro (por ejemplo, resúmenes de congresos, notas técnicas, editoriales), estudios sin texto completo disponible, publicaciones duplicadas en diferentes bases de datos, artículos con información metodológica insuficiente o resultados poco claros.

Finalmente cribar los resúmenes de los trabajos, y como resultado la literatura científica destacó 144 documentos relacionados con los temas de los 4 capítulos. El 80% fueron artículos científicos, el resto son libros, revistas, documentos gubernamentales.

El 50% de los artículos hacen referencia al contenido de CB de las FYVM, el 10% a la afectación de las propiedades de los CB, el 15% a sus beneficios para la salud, el 12% a su aplicación en la industria como colorantes y el 13% a los procesos biotecnológicos.

Se realizó una identificación del campo de estudio y periodo a analizar, así como la selección de las fuentes de información, la identificación del problema y determinar la pregunta, para proceder con la selección de las fuentes de información, como lo describe la tabla N°1, la cual contiene un resumen de la formulación de preguntas.

Tabla 1. Resumen formulación de preguntas

Actividad	Pregunta	Objetivo al que apunta	Recursos	Fuentes de Información
Revisión sistemática detallada	¿Existen estudios a nivel global, relacionados con los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado?	Comparar los principales estudios a nivel global, especialmente de países desarrollados, relacionados con los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado.	Computadora, Internet, bases de datos, Biblioteca de la UNAD.	bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS).
Revisión sistemática detallada	¿Existen estudios relacionados con los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado, más cultivados en la región Andina,?	Comparar los principales estudios relacionados con los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado, de la región Andina de acuerdo a los mas comúnmente cultivados.	Computadora, Internet, bases de datos, Biblioteca de la UNAD.	bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS).

Actividad	Pregunta	Objetivo al que apunta	Recursos	Fuentes de Información
Revisión sistemática detallada	¿Existen estudios relacionados con los beneficios para la salud, de los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado, de la región Andina?	Determinar mediante revisión de estudios bibliográficos que describan los beneficios para la salud, de los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul-morado de la región Andina.	Computadora, Internet, bases de datos, Biblioteca de la UNAD.	bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS).
Revisión sistemática detallada	¿Existen estudios que establezcan relación entre los compuestos bioactivos de productos frutas y vegetales de color azul-morado, de la región Andina en la prevención de ciertas enfermedades?	Relacionar los compuestos bioactivos de las frutas y hortalizas de color morado de la región Andina, con la prevención de ciertas enfermedades.	Computadora, Internet, bases de datos, Biblioteca de la UNAD.	bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS).
Revisión sistemática	¿Existen estudios donde se pueda identificar los compuestos bioactivos en productos derivados de	Indicar los compuestos bioactivos contenidos productos derivados de procesos biotecnológicos,	Computadora, Internet, bases de datos, Biblioteca de la UNAD.	bases de datos reconocidas como Science Direct, Scopus y Web of Science (WoS).

Actividad	Pregunta	Objetivo al que apunta	Recursos	Fuentes de Información
	procesos biotecnológicos a partir de frutas y vegetales de color azul-morado, y su capacidad funcional.	a partir de frutas y vegetales de color azul-morado, en la industria alimentaria y su capacidad funcional.		

Nota. Elaboración propia (2024).

Se espera determinar y clasificar los principales compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color morado-azul de la región Andina de Suramérica, tales como antocianinas, polifenoles y flavonoides. Anticipando proporcionar evidencia científica que relacione estos compuestos con efectos beneficiosos para la salud, como actividad antioxidante, propiedades antiinflamatorias, y su rol potencial en la prevención de enfermedades, así como su potencial, al aplicar procesos biotecnológicos.

Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado a nivel global

Este capítulo sirve como comparación o base científica inicial, al mostrar cómo los compuestos bioactivos de alimentos similares en países de Asia, Europa y América del norte, (Unión Europea. 2016), han sido estudiados, proporcionando un contexto global sobre su composición y posibles aplicaciones. Esto ayudaría a destacar similitudes o diferencias en los compuestos bioactivos debido a factores como el clima, suelo y biodiversidad (Dubey, Singh, Abhilash, 2020); también permite relacionar cómo las técnicas biotecnológicas utilizadas en Japón y China (Wang et al., 2017), pueden ser aplicables o adaptables al estudio y procesamiento de los productos de la región Andina. A través de este capítulo se describen conceptos de compuestos bioactivos, antocianinas (Fronsdorff et al., 2019) y otros términos de interés para toda la monografía, por esa razón se incluyen al inicio, basado en la revisión de los artículos.

Según Garzón, (2008), las antocianinas. son conocidas como sustancias “glucósidos de antocianidinas, conformadas por dos anillos aromáticos, A y B, unidos por una cadena de tres átomos de carbono. Variaciones estructurales del anillo B, producen las seis antocianidinas conocidas, de las cuales las que poseen color azul son las siguientes: Malvinidina (azul-rojo)”, Delfinidina (azul-rojo), Petunidina (azul-rojo) importantes por aportar el color característico que se estudia en la presente monografía.

Panorama Global

De los artículos japoneses relacionados con compuestos bioactivos (CP) en vegetales de color morado, se pudo revisar que, “alimentos como la col morada, la batata morada, el maíz morado y la zanahoria morada, contienen compuestos bioactivos como antocianinas y poliacetilenos” (Mizgier et al., 2016), que “poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias significativas. Estos compuestos pueden reducir el riesgo de enfermedades crónicas inducidas por glicación e inflamación” (Chen et al., 2024), y “su contenido puede variar según el tiempo de cosecha y el tipo de vegetal” (Salcedo, 2019). Existen numerosos estudios que destacan los beneficios de la dieta japonesa, especialmente “su riqueza en compuestos bioactivos, presentes en alimentos tradicionales; su gran interés por una alimentación sana” (Yang & Iglesias, 2021), se puede relacionar con el término de alimentos funcionales, el cual fue desarrollado en “Japón durante la década de 1980, como una

necesidad para reducir el alto costo de los seguros de salud que aumentaban por la necesidad de proveer cobertura a una población cada vez de mayor y se espera con su consumo, mejorar el estado alimenticio y de salud de la población en su conjunto” (Hassler, C.M. 1996).

“Aunque los alimentos ricos en antocianinas no son específicamente un pilar central de la dieta japonesa, en comparación con otros alimentos tradicionales como el arroz, el pescado y la soja”. (Yaqiong et al., 2023); sin embargo, “ciertos alimentos de color morado, como la batata morada (también conocida como murasaki imo), Berenjenas (Nasu), Uvas y vino local; frutas como el arándano japonés, algas moradas, que son reconocidas por sus propiedades antioxidantes”. (Yuan et al., 2024). “Las antocianinas derivadas de vegetales morados como la col morada, la batata morada, el maíz morado y la gynura bicolor, han demostrado ser efectivas en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas inducidas por glicación e inflamación” (Yang & Iglesias, 2021). En estudios con modelos de albúmina sérica bovina y fructosa, “las antocianinas mostraron efectos inhibidores significativos en la glicación no enzimática, destacando las antocianinas de la col morada por su mejor efecto inhibitor” (Wang et al., 2017). En 2023 Gao et al., argumentó que estas antocianinas presentan una buena capacidad para atrapar una sustancia reactiva formada como subproducto del metabolismo de la glucosa, y mostraron efectos antiinflamatorios significativos, inhibiendo la producción de factores proinflamatorios, especialmente las antocianinas de la col morada y la batata morada. (p.21).

Fronde et al., en 2019, en un estudio Japonés exhaustivo de cinco vegetales morados (achicoria roja, cebolla roja, berenjena, batata morada y zanahoria negra), reveló que estos contienen altos niveles de compuestos fenólicos, incluyendo antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos. Las antocianinas, como los derivados de cianidina, fueron comunes en todos los vegetales analizados. En términos de actividades antioxidantes, la achicoria roja y la batata morada, mostraron las actividades más altas, atribuidas a su alto contenido de compuestos fenólicos. (p.30).

Desde el 2008 Metzger en un estudio Japonés, demostró que las zanahorias moradas contienen fitoquímicos como carotenoides, fenoles y poliacetilenos, además de antocianinas. Los extractos de zanahoria morada mostraron una actividad antiinflamatoria significativa, al reducir la producción de óxido nítrico y la expresión de citocinas proinflamatorias en células

de macrófagos y células endoteliales. Los poliacetilenos, en particular, fueron responsables de esta actividad antiinflamatoria, sugiriendo que estos compuestos, más que las antocianinas, son los principales responsables de la bioactividad antiinflamatoria en las zanahorias moradas. (pp. 34-36). Por su parte Sciubba (2020) en otro estudio similar realizado en Japón, analizó el perfil metabólico de las zanahorias moradas, se monitoreó durante cuatro meses utilizando espectroscopía de resonancia magnética nuclear (NMR). Se identificaron varios metabolitos y se observó que el tiempo de cosecha afecta significativamente la composición fitoquímica, concluyendo que una cosecha más tardía en diciembre resultó en un aumento de flavonoides, fenoles y poliacetilenos, porque el proceso de crecimiento y desarrollo radicular, junto con otros factores influyentes (clima, lugar de cultivo, prácticas agronómicas), puede afectar considerablemente la composición fitoquímica de la planta, mejorando así el contenido de compuestos bioactivos. (p.39).

Mientras que Zhang en 2016 demostró en otro estudio, que los extractos fenólicos ricos en antocianinas de zanahorias y papas moradas tienen una fuerte actividad antioxidante y redujeron significativamente las citocinas proinflamatorias inducidas de la línea celular humana de adenocarcinoma de colon. Además, estos extractos restauran las defensas antioxidantes intrínsecas, elevando las actividades de las enzimas antioxidantes y la concentración de glutatión, sugiriendo que las variedades moradas de zanahorias y papas pueden mejorar las respuestas inflamatorias intestinales mediadas por el estrés oxidativo. (p.29). “En china, se incluye en la dieta, una variedad de vegetales, entre los cuales destacan aquellos de color morado debido a sus beneficios nutricionales y propiedades antioxidantes”. (Yaqiong et al., 2023). Ciertos estudios exploran los componentes y beneficios de vegetales morados, centrándose en el repollo chino morado, el cai-tai morado y la col rizada china, tal es el caso de Guerena (2020), quien sostiene que “el repollo chino morado (*Brassica rapa L. ssp. pekinensis*), es notable por su alto contenido en antocianinas, compuestos que le confieren su color morado y propiedades antioxidantes”.(p.17).

En particular, He et al., afirmó en 2016 que fue desarrollada biotecnológicamente una línea pura, que permite tener una alta concentración de antocianinas, las cuales son más estables a pH bajos y temperaturas inferiores a 45°C. Estas antocianinas incluyen principalmente cianidinas glicosiladas y aciladas, que contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante total del vegetal. (p.23).

“La col china es rica en vitaminas, fibra, nutrientes y es una de las principales verduras consumidas en otoño e invierno en el sur de Asia. Los brotes de *'Purple pak choi'* son particularmente ricos en antocianinas y de preferencia por los consumidores”. (Xu et al., 2024).

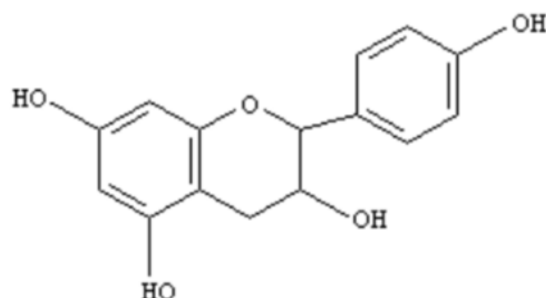
Es importante resaltar que desde 2008, Chen et al., afirmó que los glucosinolatos, son compuestos bioactivos presentes en varios vegetales de la familia Brassica, incluyendo el repollo chino, el cai-tai morado y otros. En el cai-tai morado (*B. chinensis var. purpurea*), los glucosinolatos predominantes, o compuestos ricos en azufre, es la glucobrassicinapina propio de las verduras crucíferas como col, con un contenido total de glucosinolatos que varía entre 50 y 70 mg/100 g de peso fresco. Estos compuestos tienen propiedades anticancerígenas y contribuyen a la defensa de las plantas contra plagas. (pp.45-47).

En 2017, Wang et al., estudiaron la col rizada china (*Brassica alboglabra Bailey*), resaltando su riqueza en compuestos antioxidantes y anticancerígenos. A través de un estudio metabolómico, que reveló que los cultivares de tallo morado, contienen niveles más altos de ácidos fenólicos y flavonoides en comparación con los cultivares de tallo verde, confirmando con esto que el color morado es señal de una mayor producción de antocianinas. Además, las inflorescencias de la col rizada china contienen más aminoácidos, glucosinolatos y ácidos fenólicos, que los tallos y las hojas. (pp.45-46). Por su parte, la Unión Europea en 2016, informó que los compuestos Bioactivos (CP) a nivel mundial no están incluidos en la información nutricional de los productos alimenticios, porque no están catalogados como nutrientes, al no estar demostrado aún el efecto fisiológico y por el hecho de no aportar calorías, situación similar a la de vitaminas y minerales. (párr.5). Ejemplo de compuestos bioactivos son los fitoesteroles que según León (2020), se encuentran en los vegetales de hoja verde, en frutos secos, en semillas o en legumbres. También los polifenoles, presentes en frutas, como las uvas y los cítricos; en verduras, como la remolacha y berenjena, o en legumbres como las lentejas. (p.26). Ciertos estudios como el de Rodríguez (2023), Andache (2018), revelan el uso que se le ha dado a los pigmentos de color azul -morado, de alimentos tales como el maíz capia morado, el cual ha sido utilizado como ingrediente para la fabricación de un producto nutracéutico en otros países como México, cuyo resultado fue tortillas con propiedades nutricionales, antioxidantes, antihipertensivas e hipoglucemiantes mejoradas. (p.44).

Otros investigadores “han utilizado el maíz azul en la coloración de productos terminados como quesos, pretendiendo evaluar el desempeño de una película de maíz azul, en el envasado de un queso de humedad intermedia”. (Rojas et al., 2018).

La siguiente figura muestra la estructura molecular de las antocianinas responsables del color azul en algunos vegetales.

Ilustración 1. Estructura molecular de antocianinas



(Santos et al., 2017).

Garzon (2008) define las antocianinas como pigmentos que poseen la capacidad de actuar como antioxidantes, ya que su estructura química dona radicales libres a los átomos de hidrógeno o electrones. Sostiene que de acuerdo al número, posición y conjugación de los grupos hidroxilo, esta capacidad se verá afectada, debido a la resistencia al desapareamiento de los electrones por su desplazamiento. (pp. 56). Por su parte Andache (2018) argumenta que frutos ricos en antocianinas, evidencian una “alta actividad antioxidante contra el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y contra radicales peróxidos, (ROO^\cdot), superóxido ($O_2H_2^\cdot$), hidroxilo (OH) y oxígeno singulete (1Oh_2)” . (p.32).

Se revisó un artículo sobre la caracterización estructural de antocianinas y agliconas de rábano morado (*Purple-heart*), donde Yuan et al., (2024) describen la estabilidad fisicoquímica y la actividad inhibidora de la lipasa pancreática, de las antocianinas glicosiladas y desglicosiladas del rábano *Purple-heart*, se optimizaron diversos procesos, entre ellos, la extracción asistida por microondas, la purificación mediante resina macroporosa y la hidrólisis ácida asistida por ultrasonido. Como resultado, las antocianinas alcanzaron un rendimiento de extracción de $6,081 \pm 0,106$ mg/g, para el extracto crudo, una pureza de $78,54 \pm 0,62$ % (p/p) en el producto purificado y un contenido de $76,29 \pm 1,31$ % (p/p) en el producto hidrolizado. Esto deja ver claramente el alto rendimiento de las antocianinas, por el efecto de la glicosilación y

la desglicosilación sobre la actividad inhibidora y la estabilidad fisicoquímica al aplicar procesos más tecnificados. (pp.38-39).

Otro de los artículos revisados, fue el de Hua, M, et; al, (2024) quienes mostraron un análisis cuantitativo de antocianinas y flavonoides en hojas moradas y verdes de *Eleutherococcus senticosus*, mediante técnicas de cromatografía líquida de ultra rendimiento acoplada a espectrometría de masas de alta resolución. Los resultados mostraron que el contenido total de antocianinas fue de 99,68 µg/g de peso fresco (PF) en hojas moradas y solo de 29,12 µg/g en hojas verdes, demostrando que esta diferencia se debe a su color morado que le confiere el alto contenido de antocianinas a este vegetal. La cianidina-3-O-galactósido y la delfinidina, fueron los principales compuestos de antocianinas en ambos tipos de hojas. Sin embargo, su contenido disminuyó drásticamente en las hojas verdes; en las hojas moradas, el contenido de cianidina-3-O-galactósido alcanzó 616,23 ng/100 mg, mientras que en las hojas verdes ocupó solo el quinto lugar en abundancia. El contenido total de flavonoides fue de 4,90 mg/g en hojas moradas y de 2,23 mg/g en hojas verdes. Entre los flavonoides predominantes, se identificaron el quercetina-3-β-D-glucósido (236,96 ng/mg) y el kaempferol-3-O-glucósido (145,27 ng/mg), como los principales compuestos en las hojas moradas. Este tipo de estudios permite dar relevancia a que todas las partes de la planta, incluyendo, hojas, tallos, frutos, flores y raíces, pueden aportar alto contenido de antocianinas, dependiente de su color característico. (pp. 49-51).

Factores que pueden afectar la estabilidad de las antocianinas

Los compuestos Bioactivos (CB)

“En la biosíntesis de antocianinas, la luz es considerado el factor externo más importante, originando una foto activación y activación indirecta, de las enzimas involucradas en las rutas metabólicas para la formación de estos pigmentos”. (Contreras et al., 2014). Los pigmentos vegetales denominados antocianinas, “no solo poseen potenciales beneficios terapéuticos para la salud, sino también en la industria como colorante natural en la formulación de alimentos y bebidas”. (Andache, 2018). “El repollo está constituido de varios flavonoides, entre los cuales se destacan: miricetina, luteolina, delfinidina, cianidina y

pelargonidina y en especial kaempferol y quercetina, considerados importantes para la salud, gracias a su capacidad antioxidante y antiinflamatoria”. (Park et al., 2014). “Las papas azules, presentan en su composición alto contenido de carotenoides, antocianinas y flavonoides, un buen contenido de hierro, vitamina C, sólidos y además, gran concentración de almidones”. (FAO, 2008; INIAP, 2010).

Ramón & Gil-Garzón (2021), en un estudio de revisión, efectuado específicamente con uvas, identificaron los parámetros más críticos como la variación de frecuencia, potencia y tiempo, además de los rangos óptimos de operación en el rendimiento de los polifenoles totales, presentes en las diferentes matrices de la uva. De igual manera, fue posible evidenciar la afectación de la temperatura, sobre la concentración de los principales compuestos fenólicos característicos de la uva, concluyendo que las características de termosensibilidad de los principales compuestos fenólicos como las antocianinas y flavonoles, afectan su propiedad funcional de capacidad antioxidante. (pp. 27-28).

Un estudio con batata morada desarrollado por Lucas-González et; al, (2024), tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro tratamientos de pre-fritura: remojo, escaldado, campo eléctrico pulsado (PEF) y la combinación de PEF con escaldado (PEF-B), sobre diversos aspectos de los chips fritos de batata morada. Se analizaron la composición química, el contenido de antocianinas, la formación de acrilamida y el comportamiento digestivo, específicamente la hidrólisis del almidón y la bioaccesibilidad de las antocianinas. En el análisis se identificaron 19 antocianinas, principalmente derivados de cianidina y peonidina. Sin embargo, se observó una pérdida significativa de estas, en los chips sometidos a tratamientos de escaldado, PEF y PEF-B. Los autores consideraron que, desde una perspectiva integral de la alimentación saludable, es fundamental evaluar la calidad de los alimentos, considerando aspectos como la seguridad alimentaria, el valor nutricional y el comportamiento digestivo. Este enfoque es esencial para el desarrollo de nuevos productos y la implementación de tecnologías innovadoras en la industria alimentaria. Por lo tanto, este artículo es clave, porque se centró en evaluar el impacto de diferentes pretratamientos antes de la fritura profunda sobre el contenido de acrilamida, las propiedades fisicoquímicas, la composición química, el perfil mineral, el contenido y perfil de antocianinas de los chips de batata

morada y el análisis de la digestibilidad del almidón y la bioaccesibilidad de las antocianinas, tras una digestión gastrointestinal simulada in vitro, siguiendo el protocolo armonizado INFOGEST. (pp. 18-20).

Según los estudios relacionados, “el camote, también conocido como batata morada, tiene un contenido de antocianinas comparable al de las frutas como los arándanos, las moras y los arándanos rojos, consideradas con mayor contenido de antocianinas”. (Su et al., 2019). Se encontró un porcentaje significativo de estudios, basados en los arándanos, en su mayoría relacionados con la estabilidad de las antocianinas contenidas en esta fruta azul morada, ejemplo de ello es el estudio de Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016), cuyo objetivo fue optimizar la capacidad antioxidante, el contenido de antocianinas y la capacidad de rehidratación, de polvo de arándano microencapsulado, en función de la mezcla de hidrocoloides goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado. (p.24).

“En la biosíntesis de antocianinas, la luz es considerado el factor externo más importante, originando una foto activación y activación indirecta, de las enzimas involucradas en las rutas metabólicas para la formación de estos pigmentos”. (Contreras et al., 2014). Los pigmentos vegetales denominados antocianinas, “no solo poseen potenciales beneficios terapéuticos para la salud, sino también en la industria como colorante natural en la formulación de alimentos y bebidas”. (Andache, 2018). “El repollo está constituido de varios flavonoides, entre los cuales se destacan: miricetina, luteolina, delphinidina, cianidina y pelargonidina y en especial kaempferol y quercetina, considerados importantes para la salud, gracias a su capacidad antioxidante y antiinflamatoria”. (Park et al., 2014). “Las papas azules, presentan en su composición alto contenido de carotenoides, antocianinas y flavonoides, un buen contenido de hierro, vitamina C, sólidos y además, gran concentración de almidones”. (FAO, 2008; INIAP, 2010).

Ramón & Gil-Garzón (2021), en un estudio de revisión, efectuado específicamente con uvas, identificaron los parámetros más críticos como la variación de frecuencia, potencia y tiempo, además de los rangos óptimos de operación en el rendimiento de los polifenoles totales, presentes en las diferentes matrices de la uva. De igual manera, fue posible evidenciar la afectación de la temperatura, sobre la

concentración de los principales compuestos fenólicos característicos de la uva, concluyendo que las características de termosensibilidad de los principales compuestos fenólicos como las antocianinas y flavonoles, afectan su propiedad funcional de capacidad antioxidante. (pp. 27-28).

Un estudio con batata morada desarrollado por Lucas-González et; al, (2024), tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro tratamientos de pre-fritura: remojo, escaldado, campo eléctrico pulsado (PEF) y la combinación de PEF con escaldado (PEF-B), sobre diversos aspectos de los chips fritos de batata morada. Se analizaron la composición química, el contenido de antocianinas, la formación de acrilamida y el comportamiento digestivo, específicamente la hidrólisis del almidón y la bioaccesibilidad de las antocianinas. En el análisis se identificaron 19 antocianinas, principalmente derivados de cianidina y peonidina. Sin embargo, se observó una pérdida significativa de estas, en los chips sometidos a tratamientos de escaldado, PEF y PEF-B. Los autores consideraron que, desde una perspectiva integral de la alimentación saludable, es fundamental evaluar la calidad de los alimentos, considerando aspectos como la seguridad alimentaria, el valor nutricional y el comportamiento digestivo. Este enfoque es esencial para el desarrollo de nuevos productos y la implementación de tecnologías innovadoras en la industria alimentaria. Por lo tanto, este artículo es clave, porque se centró en evaluar el impacto de diferentes pretratamientos antes de la fritura profunda sobre el contenido de acrilamida, las propiedades fisicoquímicas, la composición química, el perfil mineral, el contenido y perfil de antocianinas de los chips de batata morada y el análisis de la digestibilidad del almidón y la bioaccesibilidad de las antocianinas, tras una digestión gastrointestinal simulada *in vitro*, siguiendo el protocolo armonizado INFOGEST. (pp. 18-20).

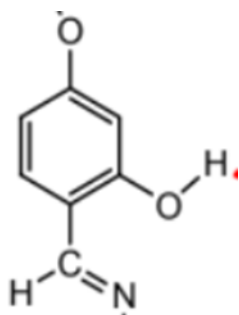
Según los estudios relacionados, “el camote, también conocido como batata morada, tiene un contenido de antocianinas comparable al de las frutas como los arándanos, las moras y los arándanos rojos, consideradas con mayor contenido de antocianinas”. (Su et al., 2019). Se encontró un porcentaje significativo de estudios, basados en los arándanos, en su mayoría relacionados con la estabilidad de las antocianinas contenidas en esta fruta azul morada, ejemplo de ello es el estudio de Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016), cuyo objetivo fue optimizar la capacidad antioxidante,

el contenido de antocianinas y la capacidad de rehidratación, de polvo de arándano microencapsulado, en función de la mezcla de hidrocoloides goma arábica, maltodextrina y almidón modificado. (p.24).

Los Compuestos Fenólicos (CF).

“Hacen parte de los bioactivos, y cumplen funciones de defensa en las plantas, ayudan a hacer frente a factores bióticos y abióticos” (Lu et al., 2015); tienen una “importancia fisiológica y morfológica en el reino vegetal, ya que poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Sus estructuras moleculares contienen al menos, un grupo fenol, un anillo aromático unido a un grupo hidroxilo” (Balasundram et al., 2006), como se muestra en la figura 2, a continuación.

Ilustración 2. Estructura del grupo hidroxilo



(Santos et al., 2017).

Artículos relevantes, de Sidor & Gramza-Michałowska, en 2019 y Park et al., en 2022, mostraron el contenido fenólico total más alto para los extractos de batata morada (7,1%), seguido de chokeberry (6,1%), hibisco (5,0%) y uva (4,7%). El extracto de hibisco utilizado en todo el estudio tenía niveles similares de azúcares y proteínas, que los pétalos de la planta encontrados en estudios anteriores, pero un contenido fenólico total más alto (5,0%) que los pétalos de hibisco (1,15%). Relacionaron el contenido fenólico total (6,1%), porcentaje que estuvo dentro del rango establecido en la literatura (0,4-11%). (pp. 34-35). “Los contenidos de proteínas, lípidos, cenizas y fenólicos totales del extracto de uva fueron similares a los del jugo de uva”. (Granato et al., 2016, Kirchhoff, 2002). El contenido de azúcar, lípidos, proteínas y cenizas del extracto de batata morada también “fue similar al informado en la literatura; el contenido fenólico total del extracto de zanahoria morada fue considerablemente más alto que el informado en estudios anteriores”. (Kirchhoff, 2002 ; Rumbaoa et al., 2009).

Un siguiente estudio desarrollado por Lin, et; al, (2023), quienes revisaron el efecto de cinco polifenoles sobre la estabilidad de las antocianinas de la col morada, en sistemas de bebidas simuladas que contienen ácido L-ascórbico. Se evaluó el efecto de pigmentación de cinco polifenoles sobre las antocianinas de la col morada; se investigaron los efectos de cinco polifenoles sobre el color y la estabilidad térmica de las antocianinas de la col morada en sistemas de bebidas simulados que contienen ácido ascórbico; y se analizó el efecto de cinco polifenoles sobre la cinética de degradación de las antocianinas de la col morada en sistemas de bebidas simulados. La medición de la estabilidad del color mostró que, con ácido ascórbico, se puede provocar la degradación de las antocianinas a través de la oxidación, produciendo un color marrón desfavorable en la bebida, mientras que la adición de ácido gálico a la bebida simulada, logró una mayor

mejora en la estabilidad del color. (pp. 37-39). Estos resultados ratifican los resultados de otros investigadores como Castañeda et al., (2009) y Echegaray et al., (2022), quienes afirmaron que, la aplicación de las antocianinas en la industria alimentaria enfrenta grandes desafíos debido a que son compuestos altamente inestables susceptibles a una serie de factores como la temperatura, el oxígeno, la luz, los ácidos, las enzimas, los iones metálicos y los componentes ambientales de los alimentos. (p.54).

Los Flavonoides. “Los Flavonoides son pigmentos naturales presentes en los vegetales, y tienen por función proteger al organismo del daño producido por agentes oxidantes, como los rayos ultravioletas, la polución ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos”. (Reyes, R. Ubaldo, D. Araujo, A, 2012).

Antioxidante. Se revisó un estudio de Uto-Kondo, et; al, (2024), sobre la maca (*Lepidium meyenii*), cultivada principalmente en Perú, es una planta medicinal tradicionalmente empleada para mejorar la motilidad espermática y los niveles de hormonas séricas. Sus fenotipos se distinguen por una variedad de colores, incluyendo morado, negro, amarillo, blanco y combinaciones mixtas. Los autores sostienen que recientemente, se ha desarrollado un método de cultivo de maca en Japón. En este estudio, se evaluaron los efectos de los distintos fenotipos y partes de la planta sobre la actividad antioxidante, así como el contenido total de polifenoles, antocianinas y bencil-glucosinolato en la maca cultivada en Japón. Los resultados indicaron que la piel de la maca morada presentó los niveles más altos de polifenoles totales, actividad antioxidante y contenido de antocianinas entre todos los tipos analizados. En este estudio, se reveló que el color morado es el responsable del alto contenido de polifenoles en la piel de maca morada, por lo que es ampliamente recomendada por su actividad antioxidante y por su contenido de antocianinas. (pp. 23-26).

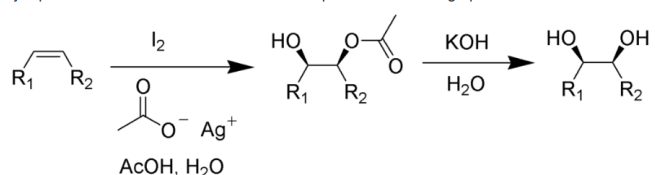
Se ha aumentado el interés en los pigmentos de antocianina, “por su color, que la hacen útil y como una fuente atractiva de colorante de alimentos naturales, para la industria alimentaria y textil, sustituyendo colorantes alimentarios sintéticos” (Zozio, S. Pallet, D. Dornier, M. 2011). Ballesteros & Barros (2019), afirman que el pH afecta y degrada las antocianinas, la sal de flavilio es estable sólo en condiciones ácidas. Se transforma en una base quinoidal cuando el pH es alto, formando el clorofenol, que es un compuesto coloreado. El factor temperatura desestabiliza la estructura molecular de las antocianinas, se produce

una hidrólisis en la estructura del 3-Glicósido, al aumentar este. La hidroxilación del anillo A, que consiste en la formación de un nuevo enlace C-O, por medio de la incorporación de un grupo hidroxilo (OH) en un sustrato adecuado, genera una producción de chalconas, que originan el color café; (p.57) dicha información fue ratificada en estudios anteriores desarrollados por Laleh en 2006, considerando la importancia de un mecanismo en el que el consumidor conozca claramente, los factores que afectan la estabilidad de los compuestos bioactivos. (p. 45).

En la figura 3, que se ilustra a continuación, se puede observar el proceso de hidroxilación, responsable de la coloración café en la degradación de las antocianinas.

Ilustración 3. Proceso de Hidroxilación

Ejemplo de una reacción de hidroxilación en la que se añaden dos grupos hidroxilos al reactivo de la izquierda:



Ejemplo de una reacción de hidroxilación en la que se añaden dos grupos hidroxilos al reactivo de la izquierda.

(Thomas Delvin, 2004).

El Tono Morado de los Alimentos. Un buen porcentaje de los artículos revisados centró su interés en el color en los alimentos, tal es el estudio de Wang (2024), quien argumenta que el color representa un parámetro importante de calidad. Una de las investigaciones tuvo como objetivo extraer antocianinas de camote morado (*Ipomoea batatas*), mediante la técnica de ultrasonido y su aplicación en un producto alimenticio (paletas heladas), como colorante antociánico natural, que se almacenaron y analizaron durante un mes. (p. 56).

“El contenido de antocianinas en paletas heladas se mantuvo en 80% hasta el día 21, y el pH, los sólidos solubles y las propiedades de color no presentaron cambios durante el almacenamiento” (Rodríguez et al., 2023). Un estudio similar al anterior desarrollado por Amagloh et al., (2021), analizaron el Camote o batata morada (*Ipomoea batatas*), como el séptimo cultivo más importante a nivel mundial después del arroz, el trigo, el maíz, la papa, la cebada y la yuca, y con un alto contenido de carbohidratos, lípidos, proteínas y fibras dietéticas, la batata es sin duda un alimento básico con un papel importante en el mantenimiento de la seguridad alimentaria en el mundo, especialmente

en el sudeste asiático y África. Concluye que el Camote (*Ipomoea batatas*), también es una excelente fuente de micronutrientes que incluyen minerales, vitaminas y otros compuestos bioactivos como carotenoides y antocianinas, por lo que se considera un alimento funcional necesario para una dieta saludable, y se ha convertido en un foco de investigación en las últimas décadas (p 18).

Otro de los artículos revisados, muestra como Beta et al., (2019) presentan los avances en el desarrollo de variedades de trigo coloreado y su potencial para la industria de la panificación, destacando los tipos de trigo negro, morado y azul. Cada uno de estos trigos posee una composición nutricional única, particularmente en relación con sus fitoquímicos, como el ácido fenólico y las antocianinas, que les confieren colores distintivos y posibles beneficios para la salud. Las antocianinas y el ácido fenólico, mencionados en el artículo, son conocidos por sus propiedades antioxidantes, lo cual es especialmente relevante en el contexto de la salud humana, conociendo que estos compuestos bioactivos pueden ayudar a reducir el estrés oxidativo en el cuerpo. La revisión también se enfoca en las propiedades funcionales, y en la importancia de la introducción de estos trigos coloreados en la industria, no solo por aportar beneficios nutricionales, sino también ofrecer opciones visualmente atractivas y saludables, enriqueciendo así la diversidad de productos disponibles. (pp. 25-28).

Un estudio reciente de los investigadores Li et al, (2024), revela el potencial de las antocianinas presentes en la papa morada para regular las propiedades digestivas de los almidones de diversos cereales. Los experimentos de digestión in vitro revelaron, que estas antocianinas inhiben de manera más efectiva la hidrólisis del almidón de arroz, en comparación con el almidón de guisante y el almidón de papa. Estos hallazgos resultan particularmente interesantes, ya que contribuyen a una comprensión más profunda de los mecanismos mediante los cuales las antocianinas de la papa morada (*Solanum tuberosum ssp andigena*), afectan la digestibilidad del almidón. (pp. 19-20).

Otro artículo de Li et al., (2022), examina los beneficios para la salud de las antocianinas, su síntesis y transporte, las regulaciones transcripcionales, los factores que influyen en su producción y las estrategias para aumentar su contenido en las hortalizas de fruto pertenecientes a la familia de las solanáceas. El estudio sirve como referencia

para futuras investigaciones sobre la biosíntesis, acumulación y metabolismo de las antocianinas, además de orientar el mejoramiento y cultivo de hortalizas de fruto solanáceo con un mayor contenido de estas valiosas sustancias. (pp. 12-13).

Compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado de la región andina (ra)

“La región Andina de Suramérica tiene gran importancia por su biodiversidad y riqueza agroecológica, alberga una amplia variedad de frutas y vegetales de colores vibrantes, entre ellos, aquellos de tonalidades moradas”. (Lehm, 2002). Estos alimentos destacan no solo “por su atractivo visual, sino también por su contenido en compuestos bioactivos con importantes propiedades nutricionales y terapéuticas. En particular, el color morado se debe a la presencia de antocianinas, un tipo de flavonoide con potentes efectos antioxidantes”(Alarcon et al., 2018). Además, estos vegetales y frutas “contienen otros fitoquímicos como polifenoles, carotenoides y vitaminas esenciales que contribuyen a la prevención de enfermedades crónicas” (Amagloh et al., 2021). En este capítulo, se exploran los principales compuestos bioactivos presentes en estos alimentos, sus funciones biológicas, destacando “su papel como recursos sostenibles para la alimentación y la medicina en la región”. (Ranilla et al., 2021).

Región Andina de Suramérica (RAS)

La región Andina de Suramérica está compuesta por los países de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, que se agrupan en la Comunidad Andina de Naciones (CAN). Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay son países asociados a la CAN. (Cintia et al., 2023).

De acuerdo a la CEPAL (2014), en Colombia, esta es una de las seis regiones naturales del país, ubicada en el centro del territorio, limitando al norte con la región Caribe, al noreste con Venezuela, al este con la Orinoquía, al sureste con la Amazonia, al sur con Ecuador y al oeste con la región del Pacífico. Está surcada en dirección SO-NE por tres ramales septentrionales de los Andes: las cordilleras Occidental, Central y Oriental; través de esta región de Colombia pasan las tres cordilleras de los andes, la occidental, central y oriental, tiene un sistema fluvial cuyos principales ríos son el Cauca y el Magdalena. La región tiene 34 419 398 habitantes (2018), es la zona más poblada y económicamente más activa del país. Los departamentos en esta región son: Caquetá, Cundinamarca, Caldas, Tolima, Cesar, Chocó, Antioquia, Boyacá, Huila, Santander, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Cauca, Putumayo, Valle del Cauca y Nariño. (pp. 54-55). La siguiente figura muestra los vegetales de color morado que mayormente se cultivan en la región Andina.

Ilustración 4. Frutas y vegetales morados más cultivados en la región Andina.



Pixabay MikeGoad, 2013.

Cinco vegetales de color morado, más cultivados en la región andina excluyendo los arándanos

Los estudios sobre cultivos de frutas y vegetales de color morado (FYVCM) en la región Andina, destacan principalmente el maíz morado y la batata morada (*Ipomoea batatas*). Por ejemplo, Ranilla et al., en 2021 muestra la variabilidad en la composición de metabolitos y capacidad antioxidante del maíz morado (*Zea mays*), dependiendo de la altitud, de cultivo, con potencial para un agronegocio rentable. (p.34). Lo anterior probablemente debido a factores de estrés abiótico, altitud, radiación UV, temperatura y disponibilidad de agua del entorno andino. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la composición de metabolitos fenólicos y polares primarios del maíz morado (granos y mazorcas) cultivado en dos zonas andinas peruanas (tierras bajas y tierras altas) mediante plataformas metabolómicas de UHPLC (cromatografía líquida de ultra alta resolución) dirigida y GC-MS (cromatografía de gases y espectrometría de masas) no dirigida, respectivamente. (p. 1).

Lucas et al., (2024) estudia la batata morada (*Ipomoea batatas*) y otros tubérculos Andinos, como “la papa morada (*Solanum tuberosum ssp andigena*), también presentan propiedades funcionales significativas, lo que sugiere su utilidad en el desarrollo de ingredientes funcionales y productos de valor añadido”. (Rodríguez, 2020).

Maíz Morado (*Zea mays*). Es una planta oriunda de América, que “tiene el epispermo de las semillas (granos) y la tusa (coronta) de color morado, lo que le otorga características especiales a los pigmentos que poseen (entre 1,5% y 6,0%), llamados antocianinas, que pertenecen al grupo de los flavonoides”. (Ranilla et al., 2021). Debido a su

“alto contenido de antocianinas (cianin-3-glucosa C3G que es su principal colorante) y compuestos fenólicos, actúa como un poderoso antioxidante natural y anticancerígeno, teniendo además propiedades funcionales debido a estos compuestos bioactivos”. (Medina et al., 2020). El maíz morado (*Zea mays*) “además aporta cantidades importantes de almidón, cerca del 80%; un 10% de azúcares los cuales le confieren un sabor dulce, un 11% de proteínas, 2% de minerales y vitaminas (complejo B y ácido ascórbico) concentrados en el endospermo”. (Guillén et al., 2014). Desde hace muchos años, autores como Salinas et al., (2012) y Guillén (2014), han considerado que además del valor nutricional, el maíz morado (*Zea mays*) tiene una composición rica en fitoquímicos, que tienen efectos benéficos en nuestro cuerpo, tales como neutralizar los radicales libres y actuar como antimutagénico. Además, se le atribuyen propiedades como alternativa al uso de colorantes artificiales de alimentos y por sus beneficios a la salud al incluirlo en la dieta. (pp. 45-46); tal información se pudo contrarrestar con estudios más actuales como (Rabanal & Medina, 2021 y (Ranilla et al., 2021). La figura 5 que se muestra a continuación, refleja el color morado intenso de un tipo de maíz cultivado en la región Andina.

Ilustración 5. Maíz Morado (Zea mays)



Nota. Foto de Archivo de la Región de Arequipa Peru. Pixabay Mircea 2016).

“El maíz morado (*Zea mays*) está constituido de antocianinas, presenta una mayor concentración en la coronta del maíz y en menor proporción en la cáscara de los granos” (Naveda, G, 2010, Lemoine, 2007). “La presencia de este compuesto brinda efectos terapéuticos” (Garzón, 2008). Tal información se revela en un estudio mucho más reciente, el cual evaluó la composición de metabolitos fenólicos y primarios del maíz morado (*Zea*

mays) cultivado en dos ubicaciones andinas de Perú (zona baja y alta), “encontrando mayores contenidos de fibra cruda, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en el maíz morado de la zona alta”. (Ranilla et al., 2021).

Otro estudio evaluó la producción de grano y el contenido de antocianina en seis cultivares de maíz morado en 28 ambientes de Cajamarca. “El cultivar INIA 601 mostró el mayor rendimiento de grano y contenido de antocianina, sugiriendo un potencial agronegocio rentable”. (Medina-Hoyos et al., 2020).

En 2003 Cevallos et al., determinaron los valores estequiométricos y cinéticos de los antioxidantes fenólicos del maíz morado andino y la batata roja. Ambos cultivos mostraron una alta capacidad antioxidante y contenido fenólico, comparables o superiores a los arándanos”. (p. 57). Esta información se confirmó en un siguiente estudio 2022 por Apace Davila, (p. 32).

Se revisó un artículo que describe “el uso de enzimas para la extracción de compuestos bioactivos del maíz morado. Se detalla el proceso de optimización de las condiciones enzimáticas para mejorar la recuperación de antocianinas y otros polifenoles” (Rabanal-Atalaya et al., 2021). De los productos de color azul -morado de la Región Andina, se destaca el maíz morado (*Zea mays L*), el cual es considerado “un importante cereal del Perú, que contiene polifenoles, entre los que se encuentran los flavonoides, y de los más importantes, las antocianinas”. (Apace, 2022). Se analizó un trabajo de revisión de Rabanal et al., (2021), que buscó describir la estructura química de las antocianinas, tipos y factores que afectan no solo el color sino también su estabilidad. En la segunda parte de dicho trabajo, se detallaron las diferentes razas y variedades mejoradas del maíz morado con que cuenta el Perú, y la cantidad de antocianinas encontradas con las diferentes técnicas químicas utilizadas. Por último, se describieron las diferentes actividades biológicas de las antocianinas poniendo énfasis en la más importante como un poderoso antioxidante. Se encontraron que las condiciones de extracción óptima de las antocianinas son con 1 g de muestra con 15 mL de agua con agitación constante durante 15 min a 90 °C, resaltando el poder antioxidante alto tanto en sistemas in-vitro como ex-vivo. (pp. 38-39).

Según Rabanal & Medina (2021) la Chicha morada es uno de los más valiosos tesoros de la gastronomía del Perú. El origen de la Chicha morada se remonta al periodo

de los incas -entre los siglos XV y XVI- donde era preparada con fines medicinales y ceremoniales. En una de sus publicaciones, *Las costumbres antiguas del Perú*, el cronista cuenta: “se hizo en el Perú desde tiempos antiquísimos por motivos medicinales, vino a ser un regalo y luego una bebida para celebrar sus fiestas. (pp. 18-21). Gracias a su alto contenido de antioxidantes, la Chicha morada es considerada una aliada para la prevención de enfermedades como el cáncer de colon y la diabetes. Excelente alternativa para que el organismo no desarrolle células cancerígenas, y reducir los niveles de presión arterial. (Vilchez & Rumiche, 2018).

Papa Morada (*Solanum Tuberosum ssp Andigena*). “La papa morada de la región andina destaca por su alta concentración de compuestos fenólicos y antocianinas, especialmente petunidina, lo que le confiere propiedades antioxidantes significativas”. (Giusti et al., 2014). En la figura N°6, se ilustra el color morado intenso de las papas, tanto en su interior como en la piel.

Ilustración 6. Papa morada (Solanum tuberosum ssp andigena).



Pixabay MikeGoad, 2013.

Bellumori et al., (2020), afirmaron que estos tubérculos no solo son valiosos desde el punto de vista nutricional, sino que también tienen potencial como ingredientes funcionales en la industria alimentaria y farmacéutica. La diversidad genética y la selección natural por parte de los agricultores andinos han jugado un papel crucial en la conservación y mejora de estas variedades. Un estudio caracterizó seis variedades de papas nativas andinas, destacando la variación genotípica en la concentración de minerales y compuestos fenólicos. Las papas moradas contienen principalmente petunidina como antocianidina mayoritaria. (p. 19). Desde 2014 Giusti et al., identificaron y cuantificaron los compuestos fenólicos en 20 variedades de papas andinas. Las papas moradas mostraron una alta concentración de petunidina-3-

cumaroilrutinosido-5-glucósido. (p. 56). Hace algunas décadas, Andre et al., (2007) investigaron el perfil antioxidante de 23 cultivares de papas andinas, encontrando niveles significativos de antocianinas en las papas de pulpa morada, con petanina como la principal antocianina. (p. 45).

En Perú se consumen papas nativas como snack, especialmente en formatos de chips. El consumo ha crecido gracias a la revalorización de los productos peruanos y la búsqueda de opciones más saludables y naturales. Diversas marcas peruanas han lanzado al mercado chips de papas nativas, tanto para el consumo interno como para la exportación, destacándose la variedad de sabores y colores. (Barragan-Condori & Aro, 2017). En un estudio desarrollado en Perú por Bardales et al., en 2022, con el objetivo de determinar los efectos de las zonas de cultivos en las cuatro variedades de papas nativas sometidas al proceso de fritura. La metodología consistió en determinar las características fisicoquímicas, contenidos de antocianinas y capacidad antioxidante de las papas cosechadas en la zona de Cahuac y Huallish, antes y después del proceso de fritura. Se determinó el contenido de antocianinas, fenólicos totales, capacidad antioxidante por el método DPPH y ABTS se vieron incrementados por el proceso de fritura, en las dos zonas cultivadas en la región Huánuco para las cuatro variedades. Este incremento se produjo en razón a que el calor rompe las paredes celulares y libera estos compuestos beneficiosos, haciéndolos más accesibles. La zona de cultivo influyó en los contenidos de azúcares reductores y ceniza para las cuatro variedades evaluadas. La variedad Tinkuy y Kitipsho son potenciales fuentes de componentes bioactivos y capacidad antioxidante. (pp. 25 -27).

Entre los años 2003 y 2005, la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, liberó al mercado de Boyacá y Cundinamarca seis nuevas variedades de papa tetraploide: Pastusa Suprema, Esmeralda, Betina, Punto Azul, Rubí y Roja Nariño. A pesar de que actualmente todas ya se encuentran en el mercado en diferente proporción, solo Pastusa Suprema apareció en las estadísticas oficiales de variedades cultivadas en los mencionados departamentos. Rosero et al., (2020), realizaron un estudio realizado en el que se analizó la difusión de las seis variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca, entrevistando a 800 productores en ambos departamentos y una entrevista a 15 expertos de la cadena de papa, donde se identificaron seis canales de difusión, de los cuales sobresale el de los productores; las principales limitantes de la difusión fueron los precios de venta relativamente bajos, la

escasa información sobre las nuevas variedades disponibles para consumidores y productores, y la escasa disponibilidad de semilla. La variedad más difundida y adoptada es Pastusa Suprema, seguida de Esmeralda y Betina, y luego por Punto Azul, Rubí y Roja Nariño; se ha determinado que las principales razones de adopción de las nuevas variedades de papa fueron sus altos rendimientos y mayor resistencia a "gota" (*Phytophthora infestans*) comparado con las "variedades antiguas"; mientras que la escasa información y poca disponibilidad de semilla fueron razones relevantes para su no adopción. (pp. 45-47).

“En Latinoamérica y el Caribe se cultiva papa en 25 países, de los cuales los de mayor producción para los últimos años en orden de importancia son: Perú, Brasil, Colombia, Argentina, y México”. (FAO, 2013). “En Colombia, el cultivo de papa se encuentra entre los 10 más importantes del subsector de producción vegetal, y entre los 4 del grupo de los cultivos transitorios”. (Encuesta Nacional Agropecuaria, 2019). Según informe de la FAO (2018), el área de producción de alimentos de color azul -morado en la región Andina: no se muestran estadísticas de áreas cultivadas de papa azul en Colombia, solo que las familias rurales del suroccidente colombiano de bajos recursos ha dependido en gran medida de la capacidad de mantener sus propios cultivos y aprovechar la resiliencia que estos han venido ganando a través del tiempo (párr. 2), es así como la Encuesta Nacional Agropecuaria (2019), revela que algunas comunidades indígenas de los Andes desde su propia percepción y visión del mundo han venido contribuyendo al desarrollo económico rural y a la preservación de los cultivos nativos (especialmente la papa nativa) bajo un sistema de cultivo tradicional denominado la Shagra, el cual es un espacio donde los pueblos indígenas cultivan sus propios alimentos para favorecer la cultura y la soberanía alimentaria. (párr. 4).

Las papas azules son una variedad antigua cultivada por los agricultores de los Andes del altiplano desde hace 500 años. Díaz et al., (2024) sostienen que este peculiar tubérculo admite, al igual que el resto de las patatas, múltiples cocinados como hervir, freír, asar o simplemente aplastar hasta obtener un puré. El color azul o morado de la papa se debe a que tiene una alta presencia de antocianinas que pueden ayudarnos a reducir las enfermedades coronarias o el riesgo de cáncer. Este alimento tiene también propiedades para regular la tensión arterial y mejorar el aspecto de la piel, sobre todo por su alto contenido en vitaminas B₃, B₆, B₉, y C. (p. 18). Los autores también utilizaron las patatas moradas como materia

prima para estudiar el proceso de producción de vino de patata morada y la actividad antioxidante. Este artículo analizó diferentes tiempos de fermentación, temperaturas de fermentación, inóculos de levadura, pH inicial, contenido inicial de azúcar sobre alcohol y contenidos de antocianina del vino de patata morada mediante experimentos de un solo factor y metodología de superficie de respuesta.(pp. 24-25). Estos resultados permiten analizar que la papa morada es fundamental para diversificar la industria de bebidas fermentadas y además aprovechar sus beneficios nutricionales, incluso tras tratamientos térmicos.

Repollo Morado o Lombarda. (*Brassica Oleracea Var*). Agroactivo, (2020) argumenta que excelente fuente de antocianinas es el repollo morado, un vegetal que tiene hojas de color violáceo debido a la presencia de las antocianinas (párr. 1), “es rica en minerales como potasio, hierro, fibra y vitamina C, con 12,3%, 7,5%, 7,7 % y 34,4%, respectivamente (He et al., 2016); de acuerdo a los porcentajes diarios recomendados”, según la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. (FDA), su consumo favorece el sistema digestivo, es antioxidante, desarrolla músculo, relaja el sistema nervioso, entre otras (párr. 5). La figura N°7 muestra el morado intenso del repollo.

Ilustración 7. (Brassica oleracea var)



Nota. Fotografía tomada de la Central de abastos de Neiva Huila Colombia. (2024).

A nivel de Colombia, “el repollo morado se cultiva especialmente en Nariño, departamento de Colombia que ocupa el 4 lugar a nivel nacional en la siembra, y el municipio de Túquerres se encuentra en el 7 lugar en producción por área sembrada” (Ministerio de Agricultura, 2017). “(*Brassicacea oleracea*) de nombre común col lombarda, o, col morada o berza morada, es una planta de la familia del repollo cuyas hojas poseen un color violáceo característico, por contener antocianinas, como la cianidina”. (Ballesteros, L. Barros, A. 2019).

Según Vijayanand (2019), el repollo morado (*Brassicacea oleracea*) de la región Andina se destaca por su elevada concentración de compuestos fenólicos, entre los que se incluyen antocianinas y derivados de ácidos hidroxicinámicos, los cuales son responsables de sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Gracias a estos compuestos bioactivos, el repollo morado se posiciona como un alimento funcional con significativos beneficios potenciales para la salud. Un estudio realizado por Mizgier et al., (2016), donde se realiza una evaluación cualitativa y cuantitativa de los compuestos fenólicos contenidos en extractos derivados de repollo morado y zanahoria púrpura. Se determinaron sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. En los extractos de zanahoria púrpura y repollo morado, se identifican 7 y 21 antocianinas, respectivamente, de las cuales el 83% y el 88% estaban aciladas. El contenido total de antocianinas en los extractos de zanahoria púrpura y repollo morado fue de 154.0 mg equivalentes de cianidina 3-O-glucósido (Cy 3-glcE) por g de materia seca (DM) y 175.1 mg Cy 3-glcE/g DM, respectivamente. El contenido de ácidos fenólicos en el extracto de zanahoria púrpura fue de 133.7 mg equivalentes de ácido 5-O-cafeoilquínico por g DM. En el extracto de repollo morado, se identifican por primera vez 21 derivados de ácidos hidroxicinámicos (HCA). (pp. 37-38). “Estos compuestos incluyen principalmente residuos de ácidos p-cumárico, ferúlico y sinápico o sus formas hidratadas. El extracto de zanahoria púrpura mostró una capacidad superior para inhibir la COX-2 (44%) en comparación con el repollo morado (24%)”. (Wang et al., 2017).

Mora Andina. (*Rubus Glaucus*). Según estudios realizados por Xueming Liu, (2004), es una fruta rica en vitaminas C, calcio y fósforo, las cuales favorecen la generación de colágeno y la absorción de hierro. El fruto, es una baya elipsoidal de 15 a 25 mm en su diámetro más ancho, de 3 a 5 g de peso, verde cuando se forma, pasando a rojo y luego a morado oscuro y brillante cuando madura; es posible que las bayas se encuentren en su madurez aun poseyendo un color rojo. (p. 25). Se encontró también por parte de Alarcón-Barrera, et al., (2018), que el extracto metanólico de mora de Castilla, presenta un contenido de antocianinas de 1,478 g/kg de pulpa; reportado como cianidina - 3-glucósido, que es la antocianina mayoritaria en mora. (pp. 34-37). La siguiente figura muestra una especie de uva silvestre, de tono morado, que se cultiva en la región Andina de Colombia, donde se puede observar claramente su color característico.

Ilustración 8. Mora silvestre (Rubus glaucus)



Nota. Fotografía tomada en la finca de Don Hipolito Yañez en la vereda Sierra del Gramal Tello Huila Colombia (2024).

En Colombia se producen alrededor de 100.000 toneladas al año de mora. Una mínima cantidad se exporta como producto procesado o mínimamente procesado (congelado) en razón a la alta tasa de deterioro que presenta la fruta en fresco debido a su alto contenido de agua y a la baja capacidad técnica con la que se cuenta para aumentar el tiempo de vida de la fruta en fresco, el resto se destina a la venta en fresco en mercados locales y como materia prima para la producción de refrescos, mermeladas, dulces, helados, entre otros, etc, elaborados por empresas nacionales. (Agudelo, P, Luna, J. & Quintero, V. 2020. p. 56-63)

Los estudios sobre la mora andina (*Rubus glaucus Benth*) destacan su riqueza en compuestos bioactivos, como fenoles, antocianinas y vitamina C, así como su notable capacidad antioxidante y potencial probiótico. (Álvarez et al., 2021). Estos compuestos no solo favorecen la salud humana, sino que también mejoran la calidad y prolongan la vida útil del producto. (Beta et al., 2019). Además, se ha demostrado que la mora andina ofrece protección contra el daño oxidativo y posee propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, consolidándola como un alimento funcional de gran potencial. (Alarcon et al., 2018). Uno de los estudios (Marín-Arango et al., 2023), investiga la coencapsulación de concentrado de mora andina, inulina y *Lactobacillus casei* mediante secado por aspersión. Se evaluaron las características fisicoquímicas y la capacidad del producto antioxidante final, destacando su potencial como alimento funcional debido a sus propiedades probióticas y prebióticas. (p.56).

La composición química de las moras andinas “tiene la capacidad para proteger los fibroblastos dérmicos humanos contra el daño oxidativo citotóxico. Las moras andinas tienen altos valores de vitamina C y β -caroteno, que mejoran significativamente los marcadores de daño oxidativo en las células”. (Alarcón-Barrera et al., 2018). La mora de castilla “debido a la presencia de compuestos fenólicos es una fruta muy rica en compuestos antioxidantes: antocianinas y carotenoides, son pigmentos naturales que presenta propiedades antioxidantes, atribuyendo beneficios para la salud, como la prevención de enfermedades cardiovasculares”.

(Naveda, G, 2010, Lemoine, 2007). Se revisó un estudio de frutas nativas de Brasil, incluye la mora (*Rubus sp.*) y evalúa su contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, encontrando que las moras son ricas en compuestos fenólicos y tienen una gran actividad antioxidante. (Denardin et al., 2015). En un estudio más reciente de las moras andinas con y sin espinas cultivadas en Risaralda Colombia, caracteriza sus propiedades fisicoquímicas y antioxidantes, se encontraron diferencias significativas en el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante entre las que tienen espinas y aquellas que no las poseen; se encontraron valores de $218,75 \pm 11,02$ y $398,73 \pm 26,67$ mg AGE g⁻¹ de contenido fenólico total, en muestra para los materiales de plantas sin espinas y con espinas, respectivamente. Y se encontró una actividad antioxidante entre $95,06 \pm 9,2$ y $105,5 \pm 2,02$ mmol AAE g⁻¹ de muestra para los frutos de plantas con y sin espinas, respectivamente. (Álvarez et al., 2021. P.45).

Una revisión importante proporciona descripciones botánicas y agronómicas, y revisa las actividades químicas y biológicas de las moras andinas, destacando su popularidad en la medicina tradicional andina y su potencial para la salud debido a sus compuestos bioactivos. (Carrillo-Perdomo et al., 2015). Un siguiente artículo caracteriza los fitoquímicos presentes en extractos de mora y evalúa su capacidad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria y anticancerígena. “Los resultados sugieren que las moras son una fuente interesante de compuestos bioactivos útiles en la prevención y tratamiento de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo”. (Gil-Martínez et al., 2023).

Cebolla Morada. (*Allium Cepa*). Contiene en gran cantidad quercetina, un nutriente con gran poder antioxidante; su color procede de antocianidinas como la cianidina, y son ricas en flavonoides. (Umeda et al., 2021). Los estudios revisados resaltan la relevancia de los compuestos bioactivos presentes en la cebolla morada (*Allium cepa*), especialmente en sus cáscaras, y su potencial aplicación tanto en la mejora de la estabilidad oxidativa de los alimentos, como en el desarrollo de envases activos. (Santos, L, et al., 2021. P.56). Estos compuestos no solo aportan propiedades antioxidantes, sino que también contribuyen a mejorar las características mecánicas y de barrera de materiales biodegradables, posicionándolos como ingredientes innovadores y prometedores para el diseño de alimentos funcionales. (Umeda, W. & Jorge, N, 2021. P.67). Se presenta a continuación una figura que ilustra el color morado de la cebolla.

Ilustración 9. Cebolla morada (Rubus glaucus).



Nota. Fotografía tomada de la Central de abastos de Neiva Huila, Colombia (2024).

En México, Chile y otros lugares se le conoce como "cebolla morada". Tiende a ser de tamaño mediano a grande, y a tener un sabor suave a dulce. (Zhao et al., 2021). Los departamentos de Colombia en los que se determinó que hay mayor aptitud para el desarrollo del cultivo comercial de cebolla, según Agroactivo, (2020), destacándose el departamento de Boyacá como el principal productor, seguido por los departamentos de Cundinamarca, Norte de Santander y Santander, entre otros. En Colombia se estima que la producción de cebolla se encuentra en promedio de 21 toneladas por hectárea al año. Lo habitual del cultivo es que tarden 5 meses, (entre 150-180 días) desde la siembra, cuando las puntas de las hojas empiecen a ponerse amarillas, señal de que empiezan a secarse y, por lo tanto, a estar maduras; es una planta que requiere climas templados y cálidos, con ambiente seco. La cebolla cabezona roja -morada es procedente principalmente de las regiones de Boyacá y Cundinamarca. Los autores estimaron que 33% de envoltura externa es desechada, esto equivale a 10 048 kg/día, con respecto a diferentes hortalizas como la mazorca, la yuca, el rábano, la coliflor y el ajo. (parr. 4).

Un estudio realizado por Umeda et al., (2021), evaluaron el efecto del extracto de cáscara de cebolla morada en la estabilidad oxidativa del aceite de soja, bajo condiciones de almacenamiento acelerado. Se encontró que la combinación del extracto de cáscara de cebolla morada con TBHQ (Terbutilhidroquinona, también denominada butilhidroquinona terciaria o antioxidante E319), mostró un efecto sinérgico, retardando la aparición de productos de degradación y contribuyendo a la retención de tocoferoles totales durante el almacenamiento. (p.38).

Otro de los trabajos con cebolla morada, (Santos et al., 2021), investigaron los efectos de la incorporación de extractos de cáscara de cebolla morada en películas de alginato de sodio. Se observó que la adición de estos extractos, aumentó la actividad antioxidante y la opacidad de las películas, además de mejorar la interacción entre las redes poliméricas,

reduciendo la solubilidad en agua de las películas de alginato. (p.43). Un artículo similar revisa los compuestos bioactivos presentes en la cebolla, incluyendo compuestos fenólicos y de azufre, y sus diversas funciones para la salud, como propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, entre otras. (Zhao et al., 2021.p.41).

A continuación, a través de la tabla N°2, un resumen de los compuestos bioactivos presentes en los vegetales morados, más cultivados en la región Andina.

Tabla 2. Resumen contenido de compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color morado más cultivados en la Región Andina, según estudios de la productividad científica entre los años 2015-2023

Alimento	Compuesto bioactivo	Estudio	Enfermedad (o mejor Propiedades)
Papa Azul. <i>Solanum tuberosum ssp andigena</i>	Glicoalcaloides (Solanina y chaconina) Potasio Vitamina C	Eraso-Grisales, S. Mejía-España, D. Hurtado, A. 2019. Extracción de glicoalcaloides de papa nativa (<i>Solanum phureja</i>) variedad ratona morada con líquidos presurizados. M. Friedman, Chemistry and anticarcinogenic mechanisms of glycoalkaloids produced by eggplants, potatoes, and tomatoes, Journal Agricultural Food Chemistry, 63, 3323-3337 (2015).	Propiedades antialérgicas, antipiréticas, antiinflamatorias, hiperglucémicas y antibióticas, anticancerígenas
Maiz Azul- <i>Zea mays</i>	Ácidos grasos Vitamina A Vitamina E Fosforo Calcio	Rios, E. Suarez, D. Luna, D. Vasquez, J. (2023). Bioaccessible fraction of blue maize (<i>Zea mays</i>) and purple ayocote bean (<i>Phaseolus coccineus</i>) extruded snacks: in vitro inhibition of α -amylase. Mexican Journal of Biotechnology	Reduce la probabilidad de que una célula se transforme en cancerígena. disminuyen los niveles de colesterol y mejoran la agudeza visual. Antiinflamatorio
Repollo Morado o Lombarda. <i>Brassica oleracea var</i>	Cianidina Querciatina Vitamina C Azufre Vitamina B6 Vitamina A Potasio Calcio Magnesio Zinc sulforafano	Rodríguez, V. & Zumba, D. (2021). Influencia de tres variedades de col (<i>Brassica oleracea</i>) en la elaboración de chucrut. Ecuadorian Science Journal, 5(3), 99-111. DOI: https://doi.org/10.46480/esj.5.3.147	Disminuye la agregación plaquetaria Antioxidante
Mora Azul. <i>Rubus glaucus</i>	Compuestos fenólicos/ Flavonoides Calcio Vitamina C	Agudelo, P. Ramirez, J. Quintero, V. (2020). Formulación y evaluación fisicoquímica de jugo de mora (<i>Rubus glaucus Benth</i>) enriquecido con calcio y vitamina C. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 18(1). 56-63, DOI: http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1411	Efecto metabólico antioxidante

Alimento	Compuesto bioactivo	Estudio	Enfermedad (o mejor Propiedades)
Cebolla morada. <i>Allium cepa</i>	Compuestos azufrados Flavonoides (Quercetina)	Fajardo, A. Arroyo, A. Ramírez, J. (2016). Extracción de flavonoides totales de la envoltura externa de cebolla roja (<i>Allium cepa</i>). UGCiencia 22, 119-126.	Antialérgico, antiinflamatorio, cardioprotector, vasodilatador, anticarcinogénico y propiedades antioxidantes

Nota. Elaboración propia (2024)

Otros frutos y vegetales de color morado cultivados en la región andina.

Se identificaron trabajos publicados entre 2001 y 2024, los cuales tienen relación los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color azul morado de la región Andina. Según Bravo et al., (2016), la biodiversidad de las montañas tropicales, especialmente en zonas de alta altitud, es aún poco conocida, particularmente en términos de su composición química y biológica. Este estudio exploró el potencial de 35 especies andinas de frutos pequeños y coloridos como fuentes de compuestos antienviejecimiento para la industria cosmética. Se evaluaron los efectos de extractos metanólicos de estos frutos, sobre enzimas clave en el envejecimiento cutáneo (colagenasa, elastasa, hialuronidasa y tirosinasa), así como su capacidad antioxidante. Los resultados sugieren que *Alchornea triplinervia*, *Gaultheria erecta*, *Rubus compactus* y *Ugni myricoides* presentan un prometedor perfil antienviejecimiento, destacando su potencial para el desarrollo de productos cosméticos naturales. (pp. 19-22).

Una investigación de Choque-Quispe et al., (2023) cuyo objetivo fue evaluar los compuestos bioactivos y el análisis sensorial, de frutos de tuna liofilizados provenientes de un valle interandino del Perú. Los frutos de tuna de los ecotipos morada, anaranjada y blanca provinieron de un valle interandino del Perú a 2.972 m de altitud. Se determinó el contenido de polifenoles totales, vitamina C y actividad antioxidante, y se concluyó que la técnica de liofilización permite conservar los atributos bioactivos y sensoriales de los frutos de tuna de los valles interandinos, lo que la convierte en una fruta potencial para la exportación y conservación debido a su estacionalidad. Los frutos de tuna son de temporada y presentan tonalidades que van desde el verde pálido hasta el morado intenso.

Sus pigmentos están asociados a compuestos bioactivos, siendo sensibles a procesos de transformación térmica para su conservación. (p.p.57-59).

Otro estudio interesante de Llerena et al., (2019) desarrollaron un modelo de predicción matemática para relacionar los parámetros internos de color de las frutas amazónicas arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), mora andina (*Rubus glaucus* Benth), arándano andino (*Vaccinium floribundum* Kunth), aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y tamarillo (*Solanum betaceum* Cav), con sus respectivos contenidos de antocianinas, carotenoides y polifenoles. El modelo matemático fue efectivo para predecir el contenido total de antocianinas, el contenido total de carotenoides y finalmente el contenido total de fenoles de los frutos ensayados. El arándano andino presentó un contenido de polifenoles totales, con un valor experimental de 7254,62 (mg GAE/100 g de muestra) con respecto a un valor de predicción de contenido de polifenoles totales de 7315,73 (mg GAE/100 g de muestra). La mora andina presentó un contenido de polifenoles totales, con un valor experimental de 1416,69 (mg cloruro cianidina 3-glucósido/100 g) con respecto a un valor de predicción de CPT de 1413 (mg cloruro cianidina 3-glucósido/100 g). (p.47).

Otro estudio de Porras-Mija et al., (2020) con frutos de la región Andina evaluó a nivel fisicoquímico y metabolómico las características del saúco (*Sambucus Nigra*) subsp. Peruviana, de cuatro diferentes regiones altoandinas; determinaron su potencial bioactivo mediante ensayos in vitro, indicando que el saúco de Junín, presentó el mayor valor de compuestos fenólicos totales con altos contenidos de flavonoles, ácidos hidroxicinámicos y antocianinas. El saúco andino presentó cianidina 3-O-glucósido y cianidina 3-O-sambubiósido como principales antocianinas, así como sus respectivos isómeros. Estos resultados sugieren que el saúco andino podría considerarse como una fuente importante de compuestos bioactivos con propiedades que podrían ser resaltadas por las industrias nutracéuticas y de alimentos funcionales. (pp. 22-25).

Un estudio realizado por Denardin, et, al, (2015) de cuatro frutas nativas brasileñas, dentro de estas, la mora Xavante, la mora Cherokee y la pitanga de pulpa morada, mostraron como resultados, el contenido fenólico total, el cual osciló entre 359,5 y 816,5 mg GAE/100 g de peso fresco. La mora Xavante y la pitanga de pulpa morada

mostraron el contenido fenólico total más alto, seguidas de la mora Cherokee, la araçá, la pitanga de pulpa naranja y roja y el butiá. El alto contenido de compuestos fenólicos en la mora reportado en el mencionado estudio, también ha sido reportado por varios autores para diferentes cultivares en los Estados Unidos, Brasil e Italia con valores que oscilan entre 192,8 y 499,0 mg GAE/100 g. Otros autores también observaron un mayor contenido de compuestos fenólicos en la pitanga morada (420,8 mg GAE/100 g), en comparación con la pitanga roja (239,2 mg GAE/100 g). Las frutas nativas brasileñas, como la pitanga de pulpa morada, las moras y el araçá, son fuentes ricas en compuestos fenólicos y tienen una gran actividad antioxidante. (pp.32-35).

Propiedades funcionales compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul- morado en la prevención de enfermedades

Los compuestos bioactivos, además de conferir el característico color a estos alimentos, desempeñan un papel clave en la prevención de diversas enfermedades crónicas, como las cardiovasculares, el cáncer, la diabetes y los trastornos neurodegenerativos. (Gil-Martínez et al., 2023.p.54). En este capítulo se analizan las propiedades funcionales de estos compuestos, con énfasis en sus mecanismos antioxidantes, antiinflamatorios y moduladores del metabolismo. Se presentan también estudios recientes que “avalan su potencial como herramientas naturales para mejorar la calidad de vida, destacando su importancia dentro de una dieta equilibrada y saludable”. (Vera, G, et al., 2019.p.35).

Compuestos Bioactivos en la Prevención de Enfermedades (PVE)

Los compuestos bioactivos, aunque están presentes en los vegetales en pequeñas cantidades (Lin et al., 2023), “pueden tener efectos fisiológicos benéficos, al unirse con otras sustancias, pueden ejercer una actividad determinada en funciones fisiológicas específicas, por lo que son implicados en la mejora y en la prevención de algunas patologías o enfermedades no transmisibles”. (Urrialde et al., 2022). Las antocianinas hacen parte de estos compuestos alimentarios, que los científicos permanentemente están estudiando los efectos en seres humanos. (ATHENA, 2015). En uno de los estudios revisados, Singh, N. et al., (2019), propusieron aplicar en seres humanos para medir la eficiencia de las antocianinas alimentarias, en el control de las enfermedades crónicas; se estudió la respuesta a la dosis, los mecanismos de acción, la biodisponibilidad de las antocianinas y las cualidades beneficiosas para la salud. Se diseñaron alimentos a partir del maíz y el tomate con diferente contenido de antocianinas, de forma tal que se pudiera determinar la relación entre la respuesta y la dosis, y así poder evaluar los beneficios de diferentes compuestos. Los investigadores cruzaron con éxito variedades de frutas ricas en antocianinas, con el propósito de producir niveles altos de resveratrol, isoflavonas, genistina y antocianinas basadas en pelargonidina, y encontraron que los factores de riesgo para las enfermedades cardíacas disminuyeron en respuesta al consumo de antocianinas en estudios epidemiológicos en seres humanos. También se encontró que las antocianinas alimentarias pueden proteger contra el daño causado por la radiación emitida en la radioterapia para el tratamiento del cáncer de mama. (pp.58-60). En 2017 Ayoub, H,

diseñó nuevos protocolos para probar el efecto de cereales, que contienen antocianina en la composición de la microflora intestinal. (p.p. 45-48). Según ATHENA (2015), se evaluaron los efectos anti-obesidad de una dieta enriquecida con antocianina, por medio de la comparación de las diferencias en la expresión genética de ratones sometidos a una dieta rica en grasas y sin antocianina, y de ratones sometidos a una dieta rica en antocianinas. Encontraron que el consumo de antocianina limitaba los cambios epigenéticos que favorecen la obesidad en ratas con dietas ricas en lípidos. Además, determinaron que algunas antocianinas aumentaban la tolerancia a la glucosa, al incrementar la sensibilidad a la insulina en células musculares y adiposas, además de inhibir enzimas digestivas de carbohidratos y modular la microbiota intestinal, facilitando una mejor captación y uso de glucosa y reduciendo su nivel en sangre; lo anterior que sugiere que desempeñan una función en el tratamiento de la diabetes. (pp.78-79).

Los compuestos fenólicos, por su parte, ejercen actividad antioxidante, ya que protegen de la acción de especies oxidantes, se han asociado con una menor incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles, tales como diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares, entre otras. (Balasundram et al., 2006).

Los flavonoides poseen una alta gama de actividades farmacológicas, útiles en el tratamiento de patologías asociadas al envejecimiento, como la enfermedad de Alzheimer y Parkinson. (Reyes et al., 2012). Los efectos sobre la salud del consumo de frutas y verduras se deben principalmente a la presencia de micronutrientes, entre ellos vitaminas y minerales, y polifenoles, metabolitos secundarios de las plantas. (Denardin et al., 2015). Una de las clases más importantes de compuestos fenólicos son las antocianinas, que confieren el color rojo púrpura típico a muchos alimentos. (Llerena et al., 2019). Un destacado estudio tuvo como objetivo enfatizar los avances de la ciencia en los últimos años, centrándose en algunos aspectos inesperados relacionados con las antocianinas, como su biodisponibilidad, sus efectos sobre la salud y su relación con el microbiota intestinal. (Giampieri et al., 2023).

Alimentos Funcionales

Definidos por la FAO como aquellos que “contienen un nivel significativo de componentes activos biológicamente, que proveen beneficios deseables para la salud, más allá de la nutrición básica” según Villar, S. (2022). Por lo anterior, se le atribuye gran importancia al tema que nos ocupa en la presente monografía, dado “el interés que se ha

otorgado a las frutas y vegetales, alimentos que la mayor parte de la producción mundial está destinada al consumo en fresco y diseñar nuevos productos funcionales a partir de éstas, con mayor tiempo de vida útil” (Redagricola, 2017); es un reto para el crecimiento de la agroindustria y a la satisfacción de las exigencias del consumidor actual. Las frutas y hortalizas con componentes fisiológicamente activos, puede ser un camino efectivo para combatir deficiencias (Cortés et al., 2005). Los autores Ayoub et al., (2017) plantearon la hipótesis de que la sustitución de la mayoría de los carbohidratos en una dieta rica en grasas, durante 8 semanas, mejoraría la resistencia a la insulina y la hipertensión, que son los componentes principales del síndrome metabólico. Los resultados mostraron que efectivamente mejoró la resistencia a la insulina y la hipertensión en comparación con las ratas Zucker obesas, alimentadas con zanahorias naranjas, las patatas blancas o una dieta de control rica en grasas y sacarosa. (pp. 19-21).

Otro estudio similar reveló que “las antocianinas presentes en el maíz chokeberry y el maíz morado, atenúan el síndrome metabólico inducido por la dieta, en ratas, situación similar sucedería en los humanos”. (Bhaswant et al., 2017). Las antocianinas, los colorantes naturales rojos y morados de las bayas, frutas, verduras y tubérculos, mejoran el metabolismo de los carbohidratos y reducen los factores de riesgo de los trastornos metabólicos. (Jokioja et al., 2021). Las antocianinas, presentes en frutas y verduras de color morado, son adecuadas para su uso en alimentos funcionales, productos farmacéuticos, cosméticos y suplementos dietéticos. (Bacca, A. & España, J. 2024.p.46). Un estudio describe las características químicas y biológicas de estas moléculas, con el fin de aclarar el creciente interés en su uso, especialmente en “alimentos funcionales y los elementos que caracterizan su metabolismo y su implicación para el alivio de enfermedades”. (Calderaro et al., 2020).

Los diversos estudios han sugerido que el “consumo de alimentos funcionales podría reducir potencialmente los riesgos de enfermedades no transmisibles. La batata se considera un alimento funcional por su contenido de compuestos bioactivos. Algunos estudios realizados en otros países han investigado la batata como alimento funcional”. (Lucas-González, R et al., 2024.p.38). Según Amagloh et al., (2021)., existe la necesidad de caracterizar las variedades de batata y determinar cómo el procesamiento afecta a sus componentes bioactivos. Esta revisión destaca algunos de los estudios realizados en varias partes del mundo, sobre la funcionalidad de la batata, sus compuestos bioactivos y cómo

estos se ven influenciados por el procesamiento. Además, se exponen los posibles beneficios para la salud que aporta el camote (*Ipomoea batatas*). (pp. 12-13).

Educación Alimentaria y Nutricional–(EAN)

Es definida como “las estrategias educativas, diseñadas para facilitar la adopción voluntaria de conductas alimentarias, y otros comportamientos relacionados con la alimentación y la nutrición, propicios para la salud y el bienestar” (FAO, 2017). Estas estrategias están enfocadas, según la Red de Información , Comunicación y Educación Alimentaria y Nutricional, (RED ICEAN. FAO. 2007). “al desarrollo de habilidades de los sujetos para tomar decisiones adecuadas en cuanto a su alimentación y en la promoción de un ambiente alimentario propicio. La educación alimentaria y nutricional mejora el conocimiento nutricional, la elección de alimentos y algunos comportamientos dietéticos, aunque los cambios en el estado nutricional y la retención a largo plazo de estos comportamientos son variables”. (parr.5). Es poca la información que se pudo hallar, en relación a la educación alimentaria y nutricional, para el consumo de compuestos bioactivos, y especialmente aquellos presentes en frutas y vegetales de tonos morados. Así mismo, en Colombia, resultan pocas las cifras de área cultivadas de papa azul, o de repollo morado, de maíz azul, también se considera poca su comercialización y consumo; de acuerdo a lo consultado al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2022), los cultivos de estos productos, básicamente se destinan al autoconsumo. Mientras que los datos publicados hacen referencia a cultivos comerciales como café y naranjas, yuca, plátano, papaya, cítricos y maíz. Además de los cultivos agroindustriales manejados por grandes empresas como la palma africana y, en menor grado, la caña de azúcar. También se cifran datos de los departamentos con mayor porcentaje de su extensión con suelos productivos agrícolas, hay 4 productos colombianos que se abren espacio a pasos agigantados en el mercado internacional, estos son el café, el aguacate hass, el limón Tahití y el azúcar de la caña, mientras que los productos como maíz azul, papa azul, repollo morado, es limitada la información al respecto. (p.18).

Un interesante estudio (Sendri et al., 2020) mostró que la actividad antioxidante de los extractos de mortiño y maíz morado, evaluados mediante el método DPPH, que usualmente se utiliza en laboratorios para medir la capacidad antioxidante de un compuesto, encontraron valores de 120 µg/mL y 90 µg/mL, respectivamente. Además, una prueba de correlación de

Pearson mostró alta correlación entre la concentración de antocianinas y la capacidad antioxidante de las muestras, deja ver una fuerte relación entre ambos factores. (p.19). Esta relación indica que a mayor concentración de antocianinas, mayor capacidad antioxidante, lo cual es esperable porque las antocianinas son polifenoles clave en esa actividad, y confirma que estos pigmentos son indicadores de calidad antioxidante en alimentos y extractos naturales. En otro estudio similar realizado por Saini et al., (2021) identificaron los principales aspectos que contribuyen a la variación en los compuestos bioactivos de las diferentes frutas y vegetales analizados, se reveló que las antocianinas y los flavonoides explican más del 70% de la variabilidad observada en las muestras. (p.16). Esto indica que “las frutas y vegetales con mayores niveles de antocianinas presentan una mayor capacidad antioxidante, lo que sugiere un vínculo directo entre la presencia de estos compuestos y el potencial para combatir el estrés oxidativo”. (Rudy et al., 2016). Este hallazgo es congruente con estudios de Singh et al., (2019) que muestran que las antocianinas son una de las principales clases de compuestos responsables de la actividad antioxidante en las frutas de color morado-azul. La fuerte correlación observada confirma que el consumo de alimentos ricos en antocianinas podría proporcionar un beneficio antioxidante considerable, ayudando a reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, como el envejecimiento prematuro y ciertos tipos de cáncer. (pp. 15-17). En este contexto, el uso de técnicas biotecnológicas para mejorar la estabilidad de estos compuestos en productos derivados podría incrementar aún más su valor como alimentos funcionales. (Rojas et al., 2018).

Los resultados obtenidos en el estudio de Sendri et al., (2020), mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución -HPLC- mostraron concentración de Antocianinas en los arándanos y el maíz morado, los cuales tienen las mayores concentraciones, con 320 mg/100 g y 290 mg/100 g de peso fresco, respectivamente. Este hallazgo es consistente con estudios previos realizados en otras regiones, donde se ha documentado que las frutas y vegetales de color morado-azul, contienen niveles elevados de antocianinas debido a su composición genética y a las condiciones ambientales de la región Andina. En particular, la biodisponibilidad de estos compuestos puede verse afectada positivamente por las condiciones ambientales únicas de la región Andina, lo que sugiere una ventaja competitiva frente a frutas y vegetales de otras latitudes; (pp. 28-29); por ejemplo en un estudio

desarrollado por Alarcón et al., (2018), de moras andinas maduras y silvestres (*Rubus glaucus Benth*) y los arándanos andinos (*Vaccinium floribundum Kunth*), que fueron colectadas en las tierras altas de Ecuador, ubicadas a una altitud que sobrepasa los 3000 metros sobre el nivel del mar en las provincias de Tungurahua, Pichincha y Cotopaxi. De acuerdo con los resultados, la mora andina y el arándano andino son fuentes naturales relevantes de compuestos bioactivos con importantes capacidades antioxidantes; la cantidad de compuestos bioactivos estuvieron dentro del rango de valores previamente reportados en otras regiones Andinas, pero menores que los valores reportados en los Estados Unidos (pp.42)

Retomando el estudio de Singh et al., (2019), la alta concentración de antocianinas en estas especies vegetales supone que estos alimentos podrían desempeñar un papel crucial como fuentes naturales de antioxidantes en la dieta. Las antocianinas son bien conocidas por su capacidad para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo en las células; en este estudio, los autores afirman lo que se ha venido refiriendo en otros estudios, acerca de los compuestos bioactivos y sus implicaciones importantes para la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. (p.18).

Efectos sobre la Salud Cardiovascular, fue un estudio realizado por Wilhelmina et al., (2020) de intervención con 50 individuos, que consumieron jugo de maíz morado durante 8 semanas, demostrando una disminución significativa en los niveles de colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad) (12%) y un aumento en el colesterol HDL (lipoproteínas de alta densidad), (8%). Este efecto positivo sobre los lípidos sanguíneos es consistente con investigaciones previas que asocian el consumo de antocianinas con mejoras en la salud cardiovascular, debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. La reducción en los niveles de colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad), y el aumento en el colesterol HDL (lipoproteínas de alta densidad), después de la intervención sugiere que los compuestos bioactivos presentes en el maíz morado pueden tener un efecto protector contra enfermedades cardiovasculares. (pp. 23-24). Estos resultados destacan la importancia de incluir alimentos ricos en antocianinas como parte de una dieta balanceada. Además, “las diferencias significativas observadas en los biomarcadores antes y después de la intervención, refuerzan el potencial terapéutico de los productos biotecnológicos derivados de estos alimentos, lo que podría ser explorado en el desarrollo de nutraceuticos”. (Alhamzah et al., 2020).

Según Suzauddula et al., (2022), el cáncer colorrectal sigue siendo un problema de salud mundial, con barreras para su prevención y tratamiento eficaces, como la recurrencia de tumores, la quimio resistencia y las limitadas tasas de supervivencia general. Las antocianinas, conocidas por sus potentes propiedades anticancerígenas, han demostrado ser prometedoras en la prevención y supresión de varios tipos de cáncer, incluido el colorrectal. Esta revisión proporcionó una descripción general de las antocianinas y sus beneficios para la salud, y explica los mecanismos por los cuales las antocianinas modulan los factores de transcripción, involucrados en el desarrollo del cáncer colorrectal, ejemplo de estos mecanismos consiste que las antocianinas inhiben la translocación de *NF-κB*, (*beta*)-*catenina*, y *ciclinas* al núcleo, impidiendo que este factor de transcripción active genes proinflamatorios (como COX-2), de supervivencia celular y de proliferación que son clave en el cáncer colorrectal (CCR). (pp.17-19).

Procesos biotecnológicos aplicados a compuestos bioactivos de frutas y vegetales de color azul-morado y su relación con la capacidad funcional

Los avances en biotecnología han permitido optimizar el aprovechamiento de los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color morado, potenciando su estabilidad, biodisponibilidad y funcionalidad. (Belwal, T et al., 2020.p.34). Técnicas como la extracción asistida, la fermentación y la microencapsulación, se han aplicado para preservar y mejorar las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y terapéuticas de estas sustancias. (Álvarez, R, 2016.p.45). En este capítulo se exploran los principales procesos biotecnológicos utilizados en la valorización de estos compuestos, destacando cómo estas innovaciones impactan su capacidad funcional y su aplicación en la industria alimentaria, nutracéutica y farmacéutica.

Impacto de los procesos biotecnológicos en los compuestos bioactivos

Los resultados de un estudio con antocianinas en arándanos realizado por Belwal et al., en 2020, indicaron que el proceso de fermentación aumentó la biodisponibilidad de los compuestos polifenólicos en un 15%, mientras que la deshidratación resultó en una disminución del 10% en la concentración de antocianinas. Estos hallazgos son coherentes con investigaciones que demuestran que la fermentación no solo preserva los compuestos bioactivos, sino que también mejora su disponibilidad al modificar su estructura química. (p.9). La modificación de la estructura química se produce través de enzimas microbianas como las β -glucosidasas y antocianidasas, que hidrolizan grupos azucarados, y mediante reacciones con compuestos liberados (aldehídos, pirúvico) y cambios de pH, provocando alteración en su color, estabilidad y solubilidad, lo que impacta directamente en el color final. Este incremento en la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos durante la fermentación, lo reafirman Aboonabi et al., (2020), resaltando que podría ser concluyente para el desarrollo de productos funcionales, como alimentos fermentados o bebidas probióticas, que proporcionen beneficios adicionales para la salud. La fermentación facilita la liberación de compuestos bioactivos, lo que podría optimizar su absorción en el tracto digestivo. Estos resultados también indican que los procesos biotecnológicos, como la fermentación, podrían ser utilizados para aumentar el valor nutricional de productos

derivados de frutas y vegetales morado-azul, ofreciendo un enfoque innovador para la industria alimentaria. (pp.35-37).

Los productos derivados, como “jugos y suplementos a base de frutas y vegetales morado-azul, mostraron una preservación significativa de los compuestos bioactivos, tras ser sometidos a procesos biotecnológicos como la fermentación, manteniendo más del 80% de su capacidad antioxidante original”. (Rudy et al., 2016). Esto confirma lo expresado por Xóchitl et al., (2024), que los productos derivados de procesos biotecnológicos, pueden ser alternativas viables y efectivas para la obtención de compuestos bioactivos en la dieta diaria. La capacidad de preservar la actividad antioxidante en los productos fermentados o concentrados subraya el potencial de la biotecnología para ofrecer soluciones innovadoras en la industria alimentaria y nutracéutica, brindando productos con mayor valor nutricional y estabilidad. (p.25). Además, refuerza la idea de que “la incorporación de estos productos en la alimentación diaria puede mejorar la salud pública en general, especialmente en poblaciones con acceso limitado a frutas frescas”. (Belwal et al., 2020).

Uno de los artículos revisados, Ramón et al., (2021) exploran diversas técnicas biotecnológicas, como la extracción asistida por enzimas y ultrasonido, para mejorar la obtención y estabilización de antocianinas en frutas azules y moradas. Se analizó cómo estas técnicas pueden incrementar el rendimiento y la estabilidad de los compuestos bioactivos, tras romper eficientemente las paredes celulares y membranas vegetales (ultrasonido por cavitación, enzimas por degradación de pared), liberando los pigmentos, mientras que operan a bajas temperaturas y/o tiempos cortos, protegiendo a las antocianinas sensibles al calor y al oxígeno,. (p.18). Otro estudio investiga “el uso de microorganismos para la biosíntesis de antocianinas a partir de arándanos. Se examinó la eficiencia de diferentes cepas microbianas y las condiciones óptimas para maximizar la producción de estos compuestos bioactivos”. (Zapata et al., 2014.p.39). Un estudio de Arteaga et al., en 2016, cuyo objetivo fue optimizar la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación de polvo de arándano microencapsulado; en función de la mezcla de hidrocoloides goma arábiga, maltodextrina y almidón modificado, observando que maximiza la retención de capacidad antioxidante y contenido de antocianinas; según los resultados, complementan sus funciones en la microencapsulación así: la goma arábiga forma películas protectoras y emulsiona, la maltodextrina es un agente de carga eficaz y ayuda a la rehidratación, y el almidón

modificado mejora la estructura y estabilidad del recubrimiento, creando una barrera física y química que reduce la degradación por factores como luz, pH y oxígeno, atrapando los compuestos bioactivos y manteniendo su capacidad antioxidante. Estos resultados pueden servir como una opción tecnológica para el aprovechamiento de frutos de descarte que contienen sustancias funcionales, como el arándano. (pp.5-8). Se revisó además un artículo de Ojeda et al., (2019) sobre cómo la nanotecnología puede mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos en vegetales azules y morados, al actuar la nanoencapsulación protegiéndolos de la luz, pH y enzimas), la nanoemulsificación aumentando su solubilidad y absorción y el uso de nanotransportadores tales como liposomas, nanocápsulas, para una liberación controlada, superando la degradación por la microbiota intestinal y permitiendo que lleguen intactos al organismo para maximizar sus beneficios antioxidantes y antiinflamatorios. La nanotecnología tendría un increíble potencial de aplicación en el sector alimentario a lo largo de la cadena alimentaria priorizando los requerimientos del consumidor. Tiene la capacidad de proveer nuevas formas de control y estructurado de alimentos con mayor funcionalidad y valor. Se discuten métodos como la encapsulación en nanopartículas para proteger y liberar eficientemente los compuestos bioactivos. (p.4). Se analizó un artículo de Díaz et al., (2024), que examina estrategias biotecnológicas, como el cultivo de papas moradas con modificadores genéticos, y el uso de técnicas de fermentación, para aumentar el contenido y la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos en este tipo de papas. Los resultados mostraron la importancia de las técnicas biotecnológicas para potenciar las papas moradas, combinando modificación genética (para mejorar su contenido de antioxidantes) y fermentación (para aumentar aún más estos compuestos), logrando así incrementar significativamente la actividad y el contenido de antioxidantes (como antocianinas), haciéndolas más valiosas nutricionalmente. El estudio además, se centra en el manejo de la punta morada, una enfermedad que afecta la fotosíntesis y el desarrollo de la planta, abordando tanto el vector como la enfermedad misma (p.23).

Antocianinas en la industria alimentaria

“Son de interés particular para la industria de colorantes alimenticios debido a su capacidad para impartir colores atractivos, debido a la demanda considerable de colorantes naturales alternativos a los colorantes sintéticos”, (Garzon, G. 2008). Según Andache, R. (2018), ejemplifica el rojo No. 40, debido a su toxicidad en alimentos, cosméticos y

productos farmacéuticos, las antocianinas son pigmentos vegetales con gran potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos; por tanto, es de gran importancia para la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Las políticas regulatorias en cuanto al uso de colorantes derivados de las antocianinas varían de país a país. Estados Unidos es el país más restrictivo en cuanto al uso de las antocianinas como colorantes naturales. Allí, cuatro de los 26 colorantes que están exentos de certificación y aprobados para el uso en alimentos, se derivan de la cáscara de la uva, del extracto de la uva, del jugo de vegetales y del jugo de frutas. (p.15). “Las fuentes más comunes de jugo de vegetales son el repollo morado, los rábanos y diferentes variedades de bayas” (Wrolstad, 2004). En contraste, en la Unión Europea, Chile, Colombia, Irán, Israel, Corea del Sur, Malta, Perú, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes, todos los colorantes derivados de las antocianinas son reconocidos como naturales (Ottersäter, 1999).

Utilizando los Recursos Genéticos

Desde 2004, Quiros et al., estudiaron sobre el aumento de los recursos genéticos de la papa en su centro de diversidad, se buscó el papel del cruzamiento natural y la selección por parte del agricultor andino, los agricultores andinos mantienen la diversidad genética de las papas mediante la propagación clonal, y la selección de nuevas variedades, incluyendo papas de piel morada. (p.16). También Menconi et al., en 2024 realizaron un trabajo de biotecnología considerable con tomates, para enriquecer el espectro de sus fitoquímicos beneficiosos para la salud, y los cruces interespecíficos con especies silvestres, dieron lugar con éxito a frutos de color antocianina púrpura. La accesión de tomate Aft (fruto de antocianina), heredó de *Solanum chilense*, la capacidad de acumular antocianinas en la cáscara de la fruta, a través de la introgresión de loci, que controlan la pigmentación de antocianinas, incluidos cuatro genes codificantes del factor de transcripción R2R3 MYB. Se llevó a cabo un análisis funcional comparativo de estos factores de transcripción en plantas de tipo silvestre y Aft, y se probó su capacidad para participar en los complejos transcripcionales que regulan la vía biosintética y su eficiencia en la inducción de la pigmentación de antocianinas. Esta revisión explora los mecanismos genéticos que se han caracterizado hasta la fecha, y detallando los distintos parientes silvestres del tomate, que han sido cruciales para recuperar rasgos ancestrales que probablemente se perdieron durante la evolución del tomate verde-morado al amarillo y rojo. (pp. 26-27). “Este conocimiento puede

ayudar a desarrollar estrategias para mejorar aún más el estado de las líneas comerciales de tomate a la venta, basadas tanto en técnicas de edición genómica como de mejoramiento”.

(Suzauddula et al., 2024).

No existen informes sobre la regulación de la síntesis de antocianinas en los brotes de pak choi morado; sin embargo, en otro de los estudios, (Xu et al., 2024) examinaron el desarrollo fenotípico de los brotes de pak choi morado después de la germinación. El contenido total de antocianinas aumentó desde los días 0 a 6; el análisis de datos de secuencia de ARN reveló un aumento en los genes expresados diferencialmente correspondientes al desarrollo de brotes de pak choi morado. El análisis del patrón de expresión de genes asociados con la vía de biosíntesis de antocianinas reveló una regulación positiva significativa de genes estructurales durante la fase púrpura, lo que indica que los factores de transcripción PAP2 y MYBL2 pueden desempeñar funciones reguladoras cruciales. BraPAP2.A03, BraTT8.A09 y BraMYBL2.A07 exhibieron fuertes interacciones con genes clave en la vía de biosíntesis de antocianinas, específicamente BraDFR.A09. Además, la expresión de BraPAP2.A03 se alineó con los patrones de expresión de la mayoría de los genes relacionados con la biosíntesis de antocianinas, mientras que los de BraTT8.A09 y BraMYBL2.A07, se correspondieron con el patrón de expresión de BraDFR.A09. Estos resultados proporcionan información valiosa sobre los mecanismos reguladores que subyacen a la síntesis de antocianinas, en los brotes de pak choi morado. (pp.17-19).

“Las antocianinas son flavonoides naturales derivados de la vía de los fenilpropanoides” (Rabanal et al., 2021). Cada vez hay más pruebas de su papel preventivo y protector frente a una amplia gama de patologías. (Rodríguez et al., 2023). Sin embargo, “la mayoría de los productos frescos disponibles para los consumidores suelen contener sólo pequeñas cantidades de antocianinas, limitadas principalmente a la epidermis de los órganos de las plantas”. (Medina-Hoyos et al., 2020). Por ello, “se han propuesto enfoques transgénicos y no transgénicos, para mejorar los niveles de este fitonutriente en verduras, frutas y cereales”. (Sciubba et al., 2020). En otro artículo propuestos por Chaves-Silva, et al., (2018) se revisó la literatura actual, sobre la vía de biosíntesis de las antocianinas en especies modelo y de cultivo, incluidos los genes estructurales y reguladores implicados en los patrones de pigmentación diferencial de las estructuras de las plantas. Además, se exploró la regulación genética de la biosíntesis de las antocianinas y las razones por las que se reprime

fuertemente en tipos de células específicos, con el fin de crear estrategias de cultivo más eficientes para impulsar la biosíntesis y la acumulación de antocianinas en frutas y verduras frescas. (p.20).

Los resultados de otro estudio desarrollado en 2024 por (Chen et al.,) proporcionaron una referencia para el mecanismo de regulación de los genes relacionados con la antocianina en el qingke de grano morado. El gen de la flavonoide 3'-hidroxilasa (F3'H) es un gen estructural importante en la vía de síntesis de antocianinas de las plantas, que se ha demostrado está involucrado en la formación del color de órganos como hojas, flores y frutos en muchas plantas. Para explorar el mecanismo molecular de la formación del color del grano del qingke morado, se utilizó la variedad cultivada de *qingke Nierumzha* (grano morado) y la variedad seleccionada de *qingke Kunlun 10* (grano blanco); para realizar la secuenciación transcriptómica en la etapa de leche temprana, leche tardía y masa blanda, se utilizó el análisis de red de coexpresión génica ponderada (WGCNA) para construir una red de coexpresión génica ponderada relacionada con la formación del color del grano, y se seleccionaron tres módulos clave (módulos marrón, amarillo y turquesa) relacionados con el grano morado de qingke. Se seleccionó del gen central del módulo para la biblioteca de levaduras, dos híbridos de levadura (Y2H), localización subcelular y otros estudios. Se encontró que en el qingke morado, HvnF3'H se distribuyó principalmente en el citoplasma y la membrana celular e interactuó con varias proteínas de estrés como la proteína metiltransferasa y la proteína de dedo de zinc. (pp.16-18).

Un estudio similar realizado por Suzauddula et al., en 2022, examinaron casos que demuestran el éxito de la bioingeniería de tomates para aumentar los niveles de antocianinas, dado que las fuentes naturales de antocianinas a menudo no proporcionan las cantidades suficientes necesarias para los efectos terapéuticos. Los cultivos de bioingeniería, en particular los tomates enriquecidos con antocianinas, ofrecen una solución viable para mejorar el contenido de antocianinas. Por su producción y consumo a gran escala, los tomates representan un objetivo ideal para los esfuerzos de bioingeniería destinados a aumentar la ingesta de antocianinas en la dieta. (p. 19).

Otro estudio adelantado por Cammareri et al., (2024), con berenjena y tomates se centró en el control genético de la vía de la antocianina y modular el contenido de antocianina en la berenjena de *Solanum chilense* (*Solanum melongena* L.) y el tomate

(*Solanum lycopersicum L.*), dos hortalizas de fruto solanáceo de relevancia mundial. Si bien los niveles de antocianina en el fruto de la berenjena siempre han sido un rasgo de calidad importante, los cultivares de tomate de fruto morado basados en antocianina, son actualmente una novedad. Como se detalla en esta revisión, esta diferencia en el contenido de antocianinas del germoplasma cultivado ha influido en gran medida en los estudios genéticos, así como en los métodos de mejoramiento y transgénicos para mejorar el contenido y el perfil de antocianinas de estos dos importantes cultivos solanáceos. (pp. 11-14).

Conclusiones

Los compuestos bioactivos presentes en frutas y vegetales de color azul y morado, particularmente en especies de la región Andina, muestran un alto potencial en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, gracias a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y cardioprotectoras. Estos hallazgos subrayan la relevancia de incorporar estos alimentos en la dieta para mejorar la salud y la nutrición humana.

De la literatura científica destacó investigaciones significativas realizadas en Japón, China, países europeos y de Norteamérica, sobre compuestos bioactivos de frutas y vegetales morados. Estas investigaciones han permitido identificar moléculas clave, como antocianinas y flavonoides, que son responsables de sus efectos funcionales, lo que amplía la comprensión global sobre el valor nutricional de estos alimentos.

Se identificaron y clasificaron cinco especies vegetales azul-moradas más cultivadas en la región Andina, como el maíz morado, la papa morada, repollo morado, uvas andinas y cebolla morada, excluyendo los arándanos andinos. Estas especies no solo poseen relevancia cultural y económica, sino también un perfil nutricional rico en compuestos bioactivos, lo que refuerza su importancia como alimentos funcionales clave en la región.

Los compuestos bioactivos presentes en estas frutas y vegetales morados han demostrado tener un efecto positivo en la prevención de enfermedades como la diabetes, la hipertensión y ciertos tipos de cáncer, como por ejemplo el cáncer colorrectal. Estos beneficios están respaldados por su capacidad para modular procesos metabólicos y reducir el estrés oxidativo, posicionándolos como aliados clave en estrategias de salud pública.

Los procesos biotecnológicos aplicados a productos derivados de frutas y vegetales morados, como la fermentación y la extracción optimizada, han demostrado mejorar la estabilidad y funcionalidad de los compuestos bioactivos en los productos finales. Esto resalta el potencial de la biotecnología para agregar valor a estos alimentos y ampliar su uso en la industria alimentaria y nutracéutica.

La aplicación de procesos genéticos para modificar tomates y otros vegetales, aumentando su contenido de antocianinas y dotándolos de un color morado, representa un

avance significativo en la biotecnología alimentaria. Estas modificaciones no solo mejoran las propiedades funcionales de los alimentos, otorgándoles mayor capacidad antioxidante, sino que también incrementan su atractivo visual y su valor comercial. Además, los estudios realizados evidencian que estas técnicas pueden ser una herramienta eficaz para desarrollar alimentos con beneficios adicionales para la salud, contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas. Sin embargo, es necesario seguir investigando los posibles efectos a largo plazo de estas modificaciones genéticas y garantizar su seguridad para el consumo humano.

Recomendaciones

Fomento de hábitos y estilos de vida saludables relacionados con el consumo de compuestos bioactivos. Se recomienda promover hábitos saludables que incluyan el consumo regular de alimentos ricos en compuestos bioactivos, destacando su impacto positivo en la prevención de enfermedades crónicas y la mejora de la calidad de vida. Estas acciones deben estar orientadas a aumentar la concienciación sobre la importancia de una alimentación equilibrada y rica en nutrientes funcionales.

Educación Alimentaria y Nutricional sobre el consumo de frutas y vegetales morados: es esencial desarrollar programas de educación alimentaria que resalten la relevancia de consumir frutas y vegetales morados, debido a su contenido elevado de compuestos bioactivos, como antocianinas y flavonoides. Estas actividades educativas deben incluir información práctica sobre la selección, preparación y beneficios de estos alimentos.

Diseño y divulgación de dietas vegetales moradas: se sugiere diseñar y difundir dietas basadas en vegetales morados, integrándolas en estrategias de alimentación saludable. Estas dietas podrían incluir recetas, menús semanales y guías de compra, dirigidas a distintos grupos de población. Además, se recomienda utilizar campañas de comunicación efectivas para incrementar su aceptación y adopción.

Clasificación de frutas y vegetales según el color de la especie vegetal: para facilitar la identificación y elección de alimentos funcionales, se propone elaborar una clasificación detallada de frutas y vegetales, basada en su color y contenido de compuestos bioactivos. Esta clasificación podría ser utilizada como una herramienta educativa en contextos académicos, comunitarios y de salud pública.

Futuras investigaciones que relacionen los compuestos bioactivos de las frutas y vegetales de color morado, y las enfermedades reumáticas tales como lupus eritematoso sistémico, artritis, artrosis, fibromialgia, que causan inflamaciones recurrentes, y resulta más escasa la literatura frente a este tipo de enfermedades.

Se recomienda fomentar el cultivo y la venta de frutas y vegetales de color morado que se producen en la región Andina. Estas variedades, como el maíz morado, las papas nativas, y otros productos similares, poseen altos valores nutricionales y propiedades antioxidantes que los hacen atractivos tanto para el consumo local como para los mercados internacionales. A pesar de ser productos autóctonos de la región, su comercialización en los

mercados locales es limitada y poco desarrollada. Sin embargo, en otros países, estos alimentos gozan de gran popularidad y alta demanda, destacándose como productos de gran impacto al consumidor. Por lo tanto, potenciar su capacidad como compuestos bioactivos a través de procesos biotecnológicos y aumentar su venta en la región y promover su exportación, no solo contribuiría al desarrollo económico de los productores locales, sino que también pondría en valor la riqueza agrícola y cultural de la región Andina.

Referencias Bibliográficas

- Abu P. Liu, D. (2013). Avances recientes en la comprensión de la acción anti-diabética de la dieta enriquecida con flavonoides. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 24(11):1777-1789
- Aboonabi, A. Meyer, R.R. Gaiz, A. Singh, I. (2020). Anthocyanins in berries exhibited anti-atherogenicity and antiplatelet activities in a metabolic syndrome population. *Nutr. Res.* 76:82–93. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.02.011>
- Aguilera, M. Reza, M. Chew, R. Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biocencia*. <http://dx.doi.org/10.18633/bt.v13i2.81>
- Agroactivo. (2020). *Repollo morado*. <https://agroactivocol.com/producto/material-vegetal/repollo-morado-2/>
- Agudelo Martínez, P. A., Luna Ramírez, J. C., & Quintero-Castaño, V. D. (2020). Formulación y evaluación fisicoquímica de jugo de mora (*Rubus glaucus* Benth) enriquecido con calcio y vitamina C. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612020000100056&script=sci_arttext
- Alexander Freund, 2022. Porque no gusta el color azul en los, alimentos. *Ciencia*. <https://www.dw.com/es/por-qu%C3%A9-no-nos-gusta-el-color-azul-en-los-alimentos/a-61700870>.
- Alegre, M. L. M., Castro Puyana, M., & Plaza del Moral, M. (2021). Estrategias avanzadas para la mejora de la calidad, la seguridad y la funcionalidad de los alimentos. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/4877321>
- Alarcón-Barrera, K. Armijos-Montesinos, D. García-Tenesaca, M. Iturralde, G. Jaramillo-Vivanco, T. Granda-Albuja, M. Giampieri, F. Álvarez-Suarez, J. (2018). Mora andina silvestre (*Rubus glaucus* Benth) y arándano andino (*Vaccinium floribundum* Kunth) de las tierras altas del Ecuador: composición nutricional y efecto protector de los fibroblastos dérmicos humanos contra el daño oxidativo citotóxico. *Revista de investigación de bayas*. <https://doi.org/10.3233/JBR-180316>

- Alvarez, J. Giampieri, F. Tulipani, S. Casoli, T. Di Stefano, G. (2014). Suplementación alimentaria por un mes con fresas disminuye el riesgo cardiovascular, estrés oxidativo y activación plaquetaria en humanos. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 25: 289-294
- Álvarez, G. Coronel, N. Hurtado, N. (2021). Caracterización fisicoquímica y antioxidante de la mora andina con y sin espinas cultivada en Risaralda, Colombia. *Revista Brasileira De Fruticultura* , 43. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021918>
- Alves, R. Lima, T. Chaves, K. Meireles, B. (2021). Biodegradable films with Brassica Oleracea Capitata extract as a quality indicator in sheep meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e14997. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14997>
- Alhamzah Hasan, Waheed. Asghar Ali, Kamboh. Lu Xiaoyu, Jannat BiBi. Fatima Majeed, Muhammad. Muhammad, Mughal. Nazar Ali, Korejo. Mahmoud, Alagawany. Huixia, Lv. (2020). *Flavonoid-rich foods (FRF): A promising nutraceutical approach against lifespan-shortening diseases*. *Iran J Basic Med Sci* . Doi: <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2019.35125.8353>
- ATHENA (2015). *Anthocyanin and polyphenol bioactives for health enhancement through nutritional advancement*. Publicaciones vía OpenAIRE. <https://cordis.europa.eu/project/id/245121/es>
- Amagloh, FC. Yada, B. Tumuhimbise, GA. Amagloh, FK. Kaaya, AN. (2021). El potencial de la batata como alimento funcional en el África subsahariana y sus implicaciones para la salud: una revisión. *Molecules* , 26 (10), 2971. <https://doi.org/10.3390/molecules26102971>
- Apace Davila, B. (2022). Efecto del germinado en la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos del grano del maíz morado (*Zea mayz* L.). <https://repositorio.unh.edu.pe/items/8d5368b2-fadc-433f-8373-c27059cdc6f3>
- Andre, C. Oufir, M. Guignard, C. Hoffmann, L. Hausman, J. Evers, D. Larondelle, Y. (2007). El perfil antioxidante de tubérculos nativos de papa andina (*Solanum tuberosum* L.) revela cultivares con altos niveles de betacaroteno, alfa-tocoferol, ácido clorogénico y petanina. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 55 26, 10839-49 . <https://doi.org/10.1021/JF0726583>

- Andache, R. (2018). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. *Revista Academia*. <https://www.academia.edu/5224663/>
- Arteaga, A. Arteaga, H. (2016). Optimización de la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación en polvo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulado con mezclas de hidrocoloides. *Scientia Agropecuaria*. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- Amaro, R. M. G. (2016). Usos locales y preferencias de consumo como factores de la diversidad del maíz nativo de Oaxaca (Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur). <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/09/chile-saludable-2017.pdf>
- Ayoub, H. McDonald, M. Sullivan, J. Tsao, R. Platt, M. Simpson, J. Meckling, K. (2017). El efecto de las dietas de vegetales morados ricos en antocianinas en el síndrome metabólico en ratas Zucker obesas. *Journal of medicinal food*. 1240-1249. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0025>
- Bravo, K., Alzate, F., & Osorio, E. (2016). Fruits of selected wild and cultivated Andean plants as sources of potential compounds with antioxidant and anti-aging activity. *Industrial Crops and Products*, 85, 341–352. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.074>
- Bacca Narváez, A. J., & España Muñoz, J. (2024). Revisión bibliográfica de metodologías para el aprovechamiento de residuos de frutas y verduras para la obtención de compuestos bioactivos y su uso en alimentos funcionales
- Ballesteros, L. Barros, A. (2019) *La antocianina como sustituto de los indicadores de Ph sintéticos: un paso hacia los productos verdes*, Universidad de la Costa, Dialnet, no. 975, pp. 10–11.
- Bardales, A., Muñoz, S., Villanueva, J., Rojas, R., Chamorro, R., Cueto, C., Bravo, J., Beraun, J.,o, & Mendoza, A. (2022). Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en Huánuco. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.400>

- Barragan-Condori, M., Aro, J. (2017). Determinacion del efecto de procesos de cocción en papas nativas pigmentadas (*Solanum tuberosum* spp. andigena) sobre sus compuestos bioactivos. *Rev Investig Altoandin.* http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_nlinks&pid.
- Belwal T. Singh G. Jeandet P. Pandey A. Giri L. Ramola S. Bhatt I.D. Venskutonis P.R. Georgiev M. Clément C. (2020). Anthocyanins, multi-functional natural products of industrial relevance: Recent biotechnological advances. *Biotechnol. Adv.* 2020;43:107600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107600>
- Beta, T. Li, W. Apea-Bah, F. (2019). Flour and Bread From Black, Purple, and Blue-Colored Wheats. In Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. *Elsevier.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00006-X>
- educa Un estudio sobre la biodiversidad de papas andinas pigmentadas: perfil nutricional y composición fenólica. *Moléculas*, 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25143169>
- Bhaswant, M. Shafie, S. Mathai, M. Mouatt, P. Brown, L. (2017). Las antocianinas en el maíz morado y el chokeberry atenúan el síndrome metabólico inducido por la dieta en ratas. *Nutrition.* <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.12.009>
- Beed, F., Taguchi, M., Telemans, B., Kahane, R., Le Bellec, F., Sourisseau, J. M., ... & Ramsay, G. (2021). *Frutas y hortalizas. Oportunidades y desafíos para la agricultura sostenible a pequeña escala* (pp. 212-p). FAO; CIRAD. DOI : <https://doi.org/10.4060/cb4173>
- Cadaval, A. Artiach, E. Belén, B. Usoa, R. Carmen, J. (2015). Alimentos funcionales para una alimentación más saludable. *Naturlinea.* 7- 27. <http://www.piaschile.cl/wp-content/uploads/2015/04/Alimentos-funcionales-para-una-alimentaci%C3%B3n-más-saludable.pdf>
- Castañeda, A. (2017). Efecto del extracto de la cereza en la reducción de colesterol. *Revista Academia.* https://www.academia.edu/3743326/efecto_del_extracto_de_la_cereza_en_la_reducci%C3%B3n_de_colesterol

- Camargo Sanabria, D. M. (2023). La ilustración como estrategia para la divulgación del crecimiento in vitro del arándano azul en pro de fortalecer la alfabetización científica. <http://upnblib.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/18446>
- Casafranca Zambrano, J. M. (2023). Evaluación de las características fisicoquímicas y aceptabilidad de cerveza artesanal tipo ale, elaborada con sustitución parcial de malta de maíz morado (*Zea mays* L.) <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1284>
- Carrillo-Perdomo, E. Aller, A. Cruz-Quintana, S. Giampieri, F. Álvarez-Suarez, J. (2015). Bayas andinas de Ecuador: una revisión sobre botánica, agronomía, química y potencial de salud. *Journal of Berry Research* , 5, 49-69. <https://doi.org/10.3233/JBR-140093>
- Calderaro, A. Barreca, D., Bellocco, E. Smeriglio, A. Trombetta, D. Laganà, G. (2020). Fitonutrientes coloreados: Papel y aplicaciones en los alimentos funcionales de las antocianinas. *Revista Academia* 177-195. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815354-3.00011-3>
- Camareri, M. Frary, A. Grandillo, S. (2024). Enfoques genéticos y biotecnológicos para mejorar el contenido bioactivo de la fruta: un enfoque en las antocianinas de la berenjena y el tomate. *Revista internacional de ciencias moleculares*. 25 (12), 6811. <https://doi.org/10.3390/ijms25126811>
- Cevallos-Casals, B. Cisneros-Zevallos, L. (2003). Estudios estequiométricos y cinéticos de antioxidantes fenólicos de maíz morado andino y camote de pulpa roja. *Journal of Agricultural and Food chemistry* , 51 11, 3313-9 . <https://doi.org/10.1021/JF034109C>
- CEPAL. (2005 a 2014). *Anuario estadístico de América Latina y el Caribe*. <http://www.CEPAL.org/es/publicaciones>
- Cortés, M. Chiralt, A. Puente, L. (2005). Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro. *Scielo Vitae vol.12 no.1.pp59-63*. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-20\(16\)](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-20(16)).
- Corella, D. Coltell, O. Portolés, O. (2018). A Guide to Applying the Sex-Gender Perspective to Nutritional Genomics. *Nutrients. Published*. 11(1):4. Doi: <https://doi.org/10.3390/un11010004>

- Contreras, E. Castañeda, A. González, L. G. Añorve, J. Jaimez, J. (2014). Effect of Light on Stability of Anthocyanins in Ethanolic Extracts of *Rubus fruticosus*. *SciELO*.
<https://doi.org/10.4236/fns.2014.56058>
- Chaves-Silva, S. Santos, ALD. Chalfun-Júnior, A. Zhao, J. Peres, LEP. Benedito, VA. (2018). Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants - Tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. *Phytochemistry*, pp35. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.05.013>
- Chen, X. Zhu, Z. Gerendás, J. Zimmermann, N. (2008). Glucosinolatos en hortalizas chinas de la variedad *Brassica campestris*: repollo chino, cai-tai morado, choysum, pakchoi y nabo. *Hortscience*, 43, 571-574. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.2.571>
- Understanding the molecular regulation of flavonoid 3'-hydroxylase in anthocyanin synthesis insights from purple qingke. *BMC Genomics*. 2;25(1):823. doi:
<https://doi.org/10.1186/s12864-024-10738-9>
- Chirinos, R. Campos, D. Warnier, M. Pedreschi, R. Rees, J. F. Larondelle, Y. Food chemistry, (2008). Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Phytochemistry*, pp15.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.038>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C., Huamán-Rosales, E., Landa, J., Cerna, H., Zamalloa-Puma, M., Álvarez-López, G., Barboza-Palomino, G., Alzamora-Flores, H., & Gamarrá-Villanueva, W. (2023). *Compuestos bioactivos y análisis sensorial de frutos de tuna liofilizados de un valle interandino en Perú*. *Moléculas*.
<https://doi.org/10.3390/molecules28093862>
- Denardin, C., Hirsch, G., Rocha, R., Vizzotto, M., Henriques, A., Moreira, J., Guma, F., & Emanuelli, T. (2015). Capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de cuatro frutas nativas brasileñas. *Journal of Food and Drug Analysis*. 23, 387 - 398.
<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.01.006>
- De Toro, M. Arsenault, B. Després, J. Vohl, M. (2017). Precision Nutrition: A Review of Personalized Nutritional Approaches for the Prevention and Management of Metabolic Syndrome. *Published* 9(8):913. doi: <https://doi.org/10.3390/nu9080913>

- Dubey, P. Singh, G. Abhilash, P. (2020). Agriculture in a Changing Climate. Adaptive Agricultural Practices. *Springer Nature Switzerland*. pp. 1-10. doi:10.1007/978-3-030-15519-3.
- ENSIN (2015). *Encuesta Nacional de la situación Nutricional*. ICBF.
<https://www.icbf.gov.co/europacarar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>
- EFSA, E. F. S. A. (2010). *Directiva 69/ue de la comisión*. Diario Oficial de La Unión Europea.
<https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:279:0022:0031:ES:PDF>
- Eraso-Grisales, S. Mejía-España, D. Hurtado, A. (2019). *Extracción de glicoalcaloides de papa nativa (Solanum phureja) variedad ratona morada con líquidos presurizados*.
<http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n1.80074>
- Field, C. Van, A. Drager, K. Goruk, S. & Basu, T. (2006). El consumo de folato mejora la disminución de la función linfocitaria por la edad. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 17: 37-44
- F. He, L. Mu, G.-L. Yan, N.-N. Liang, Q.-H. Pan, J. Wang, M.J. Reeves, C.-Q. Duan (2010). Biosynthesis of anthocyanin and their regulation in colored grapes. *Molecules*, pp. 9057-9091.
- Fronđ, A. Iuhas, C. Ştirbu, I. Leopold, L. Socaci, S. Andreea, S. Ayvaz, H. Andreea, S. Mihai, S. Diaconeasa, Z. y Carmen, S. (2019). Caracterización fitoquímica de cinco vegetales comestibles de color púrpura-rojizo: antocianinas, flavonoides y derivados del ácido fenólico. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules24081536> .
- Gao, Q. R. Shi, L. Wang, S. Liang, Y. Zhang, Z. (2023). Actividades antiglicación y antiinflamatorias de las antocianinas de vegetales morados. *Alimentos y funciones*.
<https://doi.org/10.1039/d2fo03645b>
- GABAS (2018). *Guías Alimentarias Basadas en Alimentos para la Población Colombiana Mayor de 2 Años*.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/guias-alimentarias-basadas-en-alimentos.pdf>

- Garzon, G. (2008). *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión* Acta biol. Colomb. 13(3): 27-36.
- García, A. Ruales, J. (2018). Study the Effect of Pre-Treatment of Drying ‘Mortiño’ (*Vaccinium Floribundum* Kunth) with Reference to Drying Rate and Total Content of Soluble Polyphenols and Anthocyanins. *Scielo. Rev Politéc.*
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-01292018000100047&lng=en&nrm=iso
- Gil-Martínez, L. Mut-Salud, N. Ruiz-García, J. Falcón-Piñeiro, A. Majjó-Ferré, M. Baños, A. De La Torre-Ramírez, J. Guillamón, E. Verardo, V. Gómez-Caravaca, A. (2023). Determinación de fitoquímicos y actividades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y anticancerígenas de los frutos de mora. *Alimentos*, 12.
<https://doi.org/10.3390/foods12071505>
- Giusti, M. Polit, M. Ayvaz, H. Tay, D. Manrique, I. (2014). Caracterización y cuantificación de antocianinas y otros fenólicos en papas nativas andinas. *Journal of Agricultural and Food chemistry* , 62 19, 4408-16 . <https://doi.org/10.1021/jf500655n>
- Giampieri, F. Cianciosi, D. Álvarez-Suarez, J. Quiles, J. Forbes-Hernández, T. Navarro-Hortal, M. Machì, M. Del Jesús Palí Casanova, M. Espinosa , J. Chen, X. Zhang, D. Bai, W. Lingmin, T. Mezzetti, B. Battino, M. Díaz, Y. (2023). Antocianinas: ¿qué sabemos hasta ahora?. *Revista de investigación de bayas* . <https://doi.org/10.3233/jbr-220087> .
- Guerena, M. (2020). Cultivos de Cole y Otras Brassicaceae (Crucíferas): Producción Orgánica.
<https://attradev.ncat.org/wp-content/uploads/2022>
- Guillén-Sánchez, J. Mori, S. Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. *Subnigroviolaceo Scientia Agropecuaria*, vol. 5, núm. 4, pp. 211-217. Universidad Nacional de Trujillo
- Guzñay Paca, F. E., & Castillo Davila, Y. R. (2023). Practicas interculturales de alimentación en las zonas andinas de Chimborazo (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo).

- He, Q. Zhang, Z. y Zhang, L. (2016). Acumulación de antocianina, capacidad antioxidante y estabilidad, y un análisis transcripcional de la biosíntesis de antocianina en repollo chino morado (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*). *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 64 1, 132-45 . <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04674>
- Hua, M. Meng, M. Fu, Y. Li, Y. (2024). Quantitative analysis of anthocyanins and flavonoids in purple and green leaves of *Eleutherococcus senticosus* by UPLC-MS/MS techniques. *Natural Product Research*, 1–6. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2360146>
- Hernández-Chavarría, J. (2025). Hambre Cero y soberanía alimentaria: Retos y oportunidades en la Agenda 2030. *Ciencia y Reflexión*, 4(2), 204-228.
- Hernández-Islas, M., Flores-Novelo, A., & del Carmen, M. (2024). Desarrollo Sostenible a través de la Innovación en Seguridad Alimentaria y Hábitos Alimenticios en Familias Marginadas. *Scientia et PRAXIS*, 4(08), 32-60.
- Zapata Torres, A. Pérez Jaimes, A. Estrada Reyes, C. (2023). La educación alimentaria nutricional como un componente en un estilo de vida saludable. Estudio descriptivo. *Perspectivas Actuales en Nutrición*, 130. : <https://www.researchgate.net/publication/374411740>
- ICBF (2020). *Estrategia de información, educación y comunicación en seguridad alimentaria-EducacionAlimentariayNutricional*.https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/caritlla_iec_baja_final_18_09_2020.pdf
- Instituto Nutrigenómica (2015). *Nutrigenómica y Nutrigenética. Diferencias y significado de ambos términos*. <https://institutonutrigenomica.com/noticias-nutrigenomica/nutrigenomica-nutrigenetica-diferencias-y-significado-de-ambos-terminos/>
- Jokioja, J. Yang, B. Linderborg, K. (2021). Antocianinas aciladas: una revisión sobre su biodisponibilidad y efectos sobre el metabolismo de carbohidratos posprandiales y la inflamación. *Revisiones exhaustivas en ciencia de los alimentos y seguridad alimentaria*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12836>

- Xóchitl, F. García, I. Hernández, J. Morales, J. Quiroz, J. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas <https://www.redalyc.org/journal/4263/426374726001/html/>
- Kalt, W. Cassidy, A. Howard, L. Krikorian, R. Stull, A. Tremblay, F. & Zamora-Ros, R. (2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)*, 11(2), 224–236. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMZ065>
- Konczak, I. Zhang, W. (2004). *Anthocyanins more than nature's colours*. Biomedicine and Biotechnology. <http://dx.doi.org/10.1155/S1110724304407013>
- León, J. Gutiérrez, R. Reynoso, R. Milán, J. Perales-Sánchez, J. Cuevas, E. Reyes, C. (2020). Tortillas preparadas con harinas extruidas de maíz azul y semillas de chía como una opción de alimento nutritivo y nutracéutico. *Agrociencia* 55: 487-506. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i5.2555>
- Lehm, Z. (2002). Avizorando los retos para los pueblos indígenas de América Latina en el nuevo milenio: Economía indígena y mercado en la Amazonía Andina: Avances, limitaciones e retos. SMITH, RC: A Tapestry Woven from the Vicissitudes of History, Place and Daily Life. Envisioning the Challenges for Indigenous Peoples of Latin America in the New Millenium. <https://www.academia.edu/download/42817027/eco-ama-lehm.pdf>.
- Lin, M. Sun, C. Gao, Q. Zhang, Z. Liang, Y. Wang, S. (2023). Effect of five polyphenols on the stability of purple cabbage anthocyanins in simulated beverage systems containing L-ascorbic acid. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101065. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101065>
- Li, Y. Ma, Q. Jiang, C. Wang, W. Song, L. Wang, R. Sun, J. (2024). Effects of purple potato anthocyanins on the in vitro digestive properties of starches of different crystalline types. *International Journal of Biological Macromolecules*, 265, 131052. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131052>
- Li, S. He, Y. Li, L. Li, D. Chen, H. (2022). New insights on the regulation of anthocyanin biosynthesis in purple Solanaceous fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 297, 110917. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110917>

- Lucas-González, R. Carrillo, C. Purriños, L. Pateiro, M. Bermúdez, R. Lorenzo, J. M. (2024). Effect of different pre-treatment on acrylamide content, nutrition value, starch digestibility and anthocyanin bioaccessibility of purple sweet potato (*Ipomoea batata*) deep-fried chips. *Food Chemistry*, 460, 140535.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140535>
- Llerena, W., Samaniego, I., Angós, I., Brito, B., Ortiz, B., & Carrillo, W. (2019). Predicción del contenido de biocompuestos en frutas ecuatorianas mediante un modelo matemático. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods8080284>
- Martínez Álvarez, Ó., Iriondo-DeHond, A., Gómez Estaca, J., & Castillo, M. (2021). Nuevas tendencias en la producción y consumo alimentario.
<https://scholar.google.com/citations?user=M7qI6foAAAAJ&hl=es&oi=sra>
- Marín-Arango, Z. Agudelo-Laverde, L. (2023). Polvo de mora andina (*rubus glaucus benth*) biofortificado con *Lactacaseibacillus casei*: efectos del proceso y formulación. *F1000Investigación* . <https://doi.org/10.12688/f1000research.132767.1>
- Meisel, L. Mujica, k. (2016). La Genómica Nutricional de la fruta: Alimentos para el Futuro de la Salud. *Revista Nutrición y Vida del Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA) de la Universidad de Chile*. <http://nutricionyvida.cl/la-genomica-nutricional-de-la-fruta-alimentos-para-el-futuro-de-la-salud/>
- Menconi, J. Perata, P. Gonzali, S. (2024). In pursuit of purple: anthocyanin biosynthesis in fruits of the tomato clade. *Trends in Plant Science*. 29(5), 589–604.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.12.010>
- Merched, A. Chan L. Nutrigenetics and nutrigenomics of atherosclerosis. *Curr Atheroscler Rep*. 2013;15(6):328. doi: <https://doi.org/10.1007/s11883-013-0328-6>
- Martínez-Navarrete, N. Camacho, M del Mar. Martínez, J. (2021). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Departamento de Tecnología de Alimentos (ETSIA). Universidad Politécnica de Valencia. España. Elsevier*.
<https://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-nutricion-humana-dietetica-283-articulo-los-compuestos-bioactivos-frutas-sus-13131455>

- Medina-Hoyos, A. Narro-León, L. Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.03.01>
- Metzger, B. Barnes, D. Reed, J. (2008). Los poliacetilenos de la zanahoria morada (*Daucus carota* L.) disminuyen la expresión inducida por lipopolisacáridos de proteínas inflamatorias en macrófagos y células endoteliales. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf073494t>
- Ministerio de Agricultura. (2017). *Área sembrada y área cosechada del cultivo de repollo 2007-2017*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1–4.
- Miyazawa, T. Nakagawa, K. Kudo, M. Muraishi, K. Someya, J. (2015). *Agric. Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyanidin-3-glucoside and cyanidin-3, 5-diglucoside, into rats and humans*. *Food Chem*. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9809582>
- Ministerio de Salud. (2016). *ABC de la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Minsalud.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/abc-seguridad-alimentaria-nutricional.pdf>
- Mizgier, P. Kucharska, A. Sokół-Łętowska, A. Kolniak-Ostek, J. Kidoń, M. Fecka, I. (2016). Caracterización de compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de extractos de col lombarda y zanahoria morada. *Journal of Functional Foods*, 21, 133-146. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2015.12.004>
- Falcones-Molina, E. L., Delgado-Mendoza, K. A., & Cevallos-Mendoza, M. J. (2024). Biotecnología y Sostenibilidad Alimentaria en Proyectos de Educación Superior. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun-ISSN: 2697-3456*, 8(15 Ed. Esp.), 19-28. <https://orcid.org/0009-0009-8613-2701>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Programa Especial para la Seguridad Alimentaria - PESA. Seguridad alimentaria y nutricional, conceptos básicos*. FAO. https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/13/13436725989060/conceptos_pdf-pesa1.pdf

- Ojeda, G. Arias -Gorman, A. Sgroppo, S. (2019). Nanotecnología y su aplicación en alimentos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.23.67747>
- Porrás-Mija, I. Chirinos, R. García-Ríos, D. Aguilar-Gálvez, A. Huamán-Alvino, C. Pedreschi, R. & Campos, D. (2020). Caracterización físico-química, perfil metabolómico y propiedades antioxidantes, antihipertensivas, antiobesidad y antidiabéticas in vitro de saúco andino (*Sambucus nigra* subsp. *peruviana*). *Revista de investigación de bayas*.
<https://doi.org/10.3233/jbr-190439>
- Quiros, C. Ortega, R. Raamsdonk, L. Herrera-Montoya, M. Cisneros, P. Schmidt, E. Brush, S. (2004). Aumento de los recursos genéticos de la papa en su centro de diversidad: el papel del cruzamiento natural y la selección por el agricultor andino. *Recursos Genéticos y Evolución de Cultivos*, 39, 107-113. <https://doi.org/10.1007/BF00051229>
- Redagricola (2017). *Conversacion sobre agricultura, los citricos construyen su futuro*.
<https://www.redagricola.com/pe/assets/uploads/2017/03/redagricola-peru-37-ilovepdf-compressed.pdf>
- Rabanal-Atalaya, M. Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoam vol.39*.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Ramón, C., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1822. <https://doi.org/10.22430/22565337.1822>
- Ranilla, L. Rios-Gonzales, B. Ramírez-Pinto, M. Fuentealba, C. Pedreschi, R.. Shetty, K. (2021). Análisis de metabolitos primarios y fenólicos, bioactividad y características físicas relevantes para la salud in vitro del maíz morado (*Zea mays* L.) cultivado en dos ubicaciones geográficas andinas. *Metabolitos*. <https://doi.org/10.3390/metabo11110722>
- Reyes, R. Ubaldo, D. Araujo, A. (2012). Los flavonoides y el Sistema Nervioso Central. *Scielo. Salud Ment [online]*. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>

- Rosales, L. G. (2015). Extracción de las antocianinas de la col lombarda. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1, 10–22.
- Rodríguez, H. R. C. (2020). La participación de la mujer rural en el desarrollo sostenible a través de la conservación de especies nativas (yuca y papa)“in situ” por medio de prácticas agrícolas tradicionales, en dos comunidades de la sierra y selva del Perú (Master's thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru).
- Rodríguez, A. Ochoa, A. Gonzalez, S. Rutiaga, O. Gonzalez, R. Begoña, A. Vega, S. (2023). Potencial colorante de las antocianinas de la pasta de camote morado: Extracción asistida por ultrasonido, actividad enzimática, color y su aplicación en paletas heladas. *Avances en la química de los alimentos*. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100358>
- Rojas, C. Trujillo, G. Saenz, C. Valderrama, A. (2018). Desempeño de una película de maíz azul en el envasado de un queso de humedad intermedia. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Edición Especial No. 2 (49- 58)*
- Rosero, M. Tapie, W. Rosero, D. (2020). Diversidad fenotípica de papas nativas en las comunidades indígenas de la etnia de los Pastos (Nariño, Colombia): Agricultura ecológica para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. *Revista Peruana de Biología*. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i4.18020>
- Rudy, Álvarez. Héctor, Araya. Rosa, Navarro-Lisboa. Carol, Lopez de Dicastillo. (2016). Evaluation of Polyphenol Content and Antioxidant Capacity of Fruits and Vegetables Using a Modified Enzymatic Extraction. *Food Technol Biotechnol*. doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.54.04.16.4497>
- Ramón, C. Gil-Garzón, M. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *Tecnológicas*. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.1822>
- Rabanal-Atalaya, M. Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>.

- Salcedo Ruiz, D. E. (2019). Evaluación de características botánicas morfológicas y físico-químicas, y el contenido de polifenoles y vitamina C de cuatro cultivares de mora (*Rubus glaucus*) para determinar su estabilidad durante el período de cosecha.
- Sanhueza, J. Valenzuela, A. (2012). Nutrigenómica: revelando los aspectos moleculares de una nutrición personalizada. *Revista chilena de nutrición*. 39 (1): 71-85
- Santos, L. De Barros Alves Silva, G. Gomes, B. Martins, V. (2021). Nuevas películas activas de alginato de sodio funcionalizadas con extracto de cáscara de cebolla morada (*Allium cepa*). *Biocatálisis y biotecnología agrícola* . <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102096>
- Salinas, Y. Pérez-Alonso, J. Vázquez, G. Aragón, F. Velázquez, G. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*zea mays l.*) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia* 46: 693-706
- Shamanin, V.P. Tekin-Cakmak, Z.H. Gordeeva, E.I. Karasu, S. Pototskaya, I. Chursin, A.S. Pozherukova, V.E. Ozulku, G. Morgounov, A.I. Sagdic, O. (2022). Antioxidant Capacity and Profiles of Phenolic Acids in Various Genotypes of Purple Wheat. *Foods* 2022, 11, 2515. <https://doi.org/10.3390/foods11162515>
- Suzauddula, M. Kobayashi, K. Park, S. Sun, X.S. Wang, W. (2024). *Tomates enriquecidos con antocianinas mediante bioingeniería: un nuevo enfoque para la prevención del cáncer colorrectal*. *Foods* , 13 (18), 2991. <https://doi.org/10.3390/foods13182991>
- Singh, N. Baby, D. Rajguru J.P. Patil, P.B. Thakkannavar, S.S. Pujari, V.B. (2019). Inflammation and cancer. *Ann. Afr. Med.* 2019;18:121–126. doi: 10.4103/aam.aam_56_18.
- Saini, P. Kumar, N. Kumar, S. Mwaurah, P.W. Panghal, A. Attkan, A.K. Singh, V.K. Garg, M.K. (2021). Bioactive compounds, nutritional benefits and food applications of colored wheat: A comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021, 61, 3197–3210.
[Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Sendri N., Devidas S.B., Katoch S., Patial V., Bhandari P. (2020). Copigmentation and UPLC-ESI-MS/MS of anthocyanin in *Ipomoea nil* as potential source of food colorant. *Nat. Prod. Res.* 1–6. doi: <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1789981>

- Sciubba, F. Tomassini, A. Giorgi, G. Brasili, E. Pasqua, G. Capuani, G. Aureli, W. Miccheli, A. (2020). Estudio metabolómico basado en RMN del momento óptimo de cosecha de la zanahoria morada para su utilización como fuente de compuestos bioactivos. *Ciencias Aplicadas* . <https://doi.org/10.3390/app10238493>
- Torres, Y. (2017). *Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya*. Scielo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*.
<https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66330>
- Urrialde, R. Gómez, A. Pintos, B. Gómez-Garay, M. Cifuentes, B. (2022). Compuestos bioactivos de origen vegetal: desarrollo de nuevos alimentos. *Nutrición hospitalaria*. Scielo. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.04302>
- Unión Europea. (2016). *Reglamento (UE) 2016/1411 de la Comisión de 24 de agosto de 2016 por el que se deniega la autorización de determinadas declaraciones de propiedades saludables en los alimentos distintas de las relativas de riesgo de enfermedad y al desarrollo y la salud de los niños*. Diario Oficial de la Unión Europea;230:1-5.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1411&from>
- Umeda, W. y Jorge, N. (2021). *Estabilidad oxidativa del aceite de soja añadido con extracto de cáscara de cebolla morada (Allium cepa L.) durante condiciones de almacenamiento acelerado*. *Food Control* , 108130 . <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108130>
- Uto-Kondo, H. Naito, Y. Ichikawa, M. Nakata, R. Hagiwara, A. Kotani, K. (2024). Antioxidant activity, total polyphenol, anthocyanin and benzyl-glucosinolate contents in different phenotypes and portion of Japanese Maca (*Lepidium meyenii*). *Heliyon*, 10(12), e32778.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32778>
- Vera, G. Villarreal, P. Wesche-Ebeling, P. Toxqui, A. Ortega, R. (2019). El papel de la nutrigenómica y los nutraceuticos en la prevención de las enfermedades cardiovasculares. *Revista Cubana de Cardiología y cirugía cardiovascular*. Num 3.
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=90770>

- Vilchez, R., Rumiche, F., Tay, L. (2018). Efecto del Extracto de Maíz Morado “Chicha Morada” durante el blanqueamiento Dental. *In vitro. Int. J. Odontostomat.*
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2018000400416&lng=es. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2018000400416>.
- Villar, S. (2022). Alimentos funcionales. FAO, AGROVOC.
http://aims.fao.org/aos/agrovoc/c_2f007684
- Vijayanand, S. Khalid, M. (2019). Study of Brassica oleracea as natural alternative to synthetic indicator,” *Asian J. Chem.*, vol. 31, no. 2, pp. 251–254, 201
- Wang, S. (2024). Anthocyanin biosynthesis in sweetpotato: Current status and future perspectives. *Journal of Food Composition and Analysis*.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106353>
- Wang, Y. Hu, L. Liu, G. Zhang, D. He, H. (2017). Evaluación de la calidad nutricional de la col china (*Brassica alboglabra* Bailey) mediante metabolómica basada en UHPLC-Quadrupole-Orbitrap MS/MS. *Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry*, 22. <https://doi.org/10.3390/molecules22081262>
- Wilhelmina, Kalt. Aedin, Cassidy. Luke R, Howard. Robert, Krikorian. April J, Stull. Francois, Tremblay. Raul, Zamora-Ros. (2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition Volume 11*.
<https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>
- Xu, C. Huang, H. Tan, C. Gao, L. Wan, S. Zhu, B. Chen, D. Zhu, B. (2024). Transcriptome and WGCNA Analyses Reveal Key Genes Regulating Anthocyanin Biosynthesis in Purple Sprout of Pak Choi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis*). *Int. J. Mol. Sci.* 25, 11736.
<https://doi.org/10.3390/ijms252111736>
- Yaqiong, Wu a. Tianyu, Han b. Hao, Yang b. Lianfei, Lyu a. Weilin, Li b. (2023). Wenlong Wu Known and potential health benefits and mechanisms of blueberry anthocyanins: A Review. *Food Bioscience*, Volume 55. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103050>

- Yang, Y. H., & Iglesias López, M. T. (2021). Dieta Mediterránea y dieta japonesa vs enfermedades neurodegenerativas. *Journal of Negative and No Positive Results*, 6(9), 1110-1148. DOI: <https://doi.org/10.19230/jonnpr.3934>
- Yuan, T. Wang, L. Chen, L. Zhong, J. Lin, Y. Wang, Y. Lin, C. Fan, H. (2024). Combinatorial preparation and structural characterization of anthocyanins and aglycones from Purple-heart Radish for evaluation of physicochemical stability and pancreatic lipase inhibitory activity. *Food Chemistry*, 446, 138832. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138832>
- Zhao, X. Lin, F. Li, H. Li, H. Wu, D. Geng, F. Wang, Y. Miao, B. Gan, R. (2021). Avances recientes en compuestos bioactivos, funciones de salud y preocupaciones de seguridad de la cebolla (*Allium cepa* L.). *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.669805>
- Zapata, L. M. Heredia, A. M. Quinteros, C.. Malleret, A. D. Clemente, G. Cárcel, J. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, vol. 25.
- Zhang, H. Liu, R. Tsao, R. (2016). Los extractos fenólicos ricos en antocianinas de vegetales de raíz púrpura inhiben las citocinas proinflamatorias inducidas por H₂O₂ y mejoran las actividades de las enzimas antioxidantes en las células Caco-2. *Journal of Functional Foods*, 22, 363-375. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2016.01.004>
- Zilong Ma, Bin Du, Jun Li,² Yuedong Yang,³ and Fengmei Zhu². (2021). An Insight into Anti-Inflammatory Activities and Inflammation Related Diseases of Anthocyanins: A Review of Both In Vivo and In Vitro Investigations. *Journal*. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms222011076>
- Zhu, J., & Liu, W. (2020). A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics*, 123(1), 321-335. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>