

## AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN ALIMENTOS

*(Advances in the determination of bioactive compounds in foods)*

**Gámez-Villazana Jordy**

<sup>1</sup> Programa Ciencias del Agro y Mar, Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales  
“Ezequiel Zamora, San Carlos, estado Cojedes - Venezuela, Correo: jordyjavier1@gmail.com.

**Revisión Bibliográfica**

**Recibido:** 20-03-2020

**Aceptado:** 30-04-2020

### RESUMEN

Recientemente se ha puesto mucho interés en unas sustancias denominadas compuestos bioactivos. Estos compuestos proporcionan algunos beneficios fisiológicos prometedores para la salud, que dirigen a la industria alimentaria a centrar su investigación en productos de esta naturaleza. Los compuestos bioactivos como los polifenoles, los carotenoides, los lípidos poliinsaturados, sustancias azufradas y los péptidos son los compuestos más estudiados. Esta revisión presenta una descripción general de avances científicos actualizados en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos, examinando los principales métodos de cuantificación usados recientemente. Previamente se estudia minuciosamente la molécula de estas sustancias, haciendo hincapié en la importancia de los compuestos bioactivos en la agroindustria y su potencial uso como ingredientes y aditivos alimentarios funcionales, dadas las propiedades químicas, nutraceúticas y antioxidantes de estos compuestos. Además, en esta revisión también se destaca la importancia de los compuestos bioactivos en la nutrición humana.

**Palabras Clave:** *Salud, polifenoles, carotenoides, bioactivos, péptidos.*

### SUMMARY

Recently, a lot of interest has been put into substances called bioactive compounds. These compounds provide some promising physiological health benefits, leading the food industry to focus their research on products of this nature. Bioactive compounds such as polyphenols, carotenoids, polyunsaturated lipids, sulfur substances, and peptides are the most studied compounds. This review presents an overview of up-to-date scientific advances in the determination of bioactive compounds in foods, examining the main recently used quantification methods. Previously, the molecule of these substances was thoroughly studied, emphasizing the importance of bioactive compounds in agribusiness and their potential use as ingredients and functional food additives, given the chemical, nutraceutical and antioxidant properties of these compounds. Furthermore, this review also highlights the importance of bioactive compounds in human nutrition.

**Key Words:** *Health, polyphenols, carotenoids, bioactives, peptides.*

## INTRODUCCIÓN

Los beneficios en la salud por consumir alimentos de origen vegetal y alimentos ricos en lípidos parecen estar relacionado con la presencia de un amplio número de sustancias que pertenecen al grupo de los denominados compuestos bioactivos. Estas sustancias químicas esenciales y no esenciales, considerados metabolitos secundarios aportan un beneficio a la salud, más allá de los constituyentes básicos de la nutrición, sus efectos beneficiosos están relacionados con el papel que juegan en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares, neurodegenerativas, síntomas de artritis, y además proporciona actividad dermatoprotectora, hepatoprotector, inmunomodular y anticancerígena, (Wang et al., 2020; Guo et al., 2020; Jackson, 2016).

Los estudios han demostrado repetidamente el importante papel de la alimentación para la salud humana, con evidencia creciente de estas pequeñas moléculas bioactivas en la dieta que influyen en varias vías metabólicas y sistemas inmunes (Alasalvar et al., 2020). Por lo tanto, la utilización de la alimentación dietética para combatir diversas enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes e incluso la enfermedad de Parkinson ha generado mucho interés en la investigación de los compuestos bioactivos en alimentos. Al agregar ingredientes bioactivos a los alimentos, intervienen muchos factores en su biodisponibilidad, entre ellos los componentes de la matriz que pueden ayudar a la concentración del fitoquímico, el proceso de producción de alimentos y las condiciones en las que se almacenará el producto (Santos-Fernandes et al., 2019). Sin embargo, aún no están claros los mecanismos de acción de estos compuestos, pero su efecto es el resultado de muchas interacciones tanto entre los distintos componentes de los alimentos, como con el propio organismo.

Como es bien sabido los vegetales son fuentes ricas en fibra, nutrientes minerales y vitaminas, no obstante, hoy día se ha demostrado que los vegetales son ricos en compuestos bioactivos, y los mismos apoyan significativamente la salud y nutrición humana al prevenir enfermedades degenerativas (Radovich, 2011; Sinha et al., 2011). Así mismo, estos componentes también están presentes, a menudo en concentraciones aún más altas, en los productos del procesamiento agroindustrial

de frutas y hortalizas. Tal hecho hace de estos productos una fuente atractiva para la extracción e identificación química de bioactivos, considerando las precauciones para preservar estas moléculas en la cadena de procesamiento de alimentos, convirtiendo de esta manera a los métodos de extracción en una estrategia de valorización atractiva para estos productos (Renard, 2018).

En este sentido, el objetivo de esta investigación es hacer una revisión actualizada de los principales avances científicos en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos, mostrando previamente el efecto de estas moléculas en la salud del consumidor.

## COMPUESTOS BIOACTIVOS EN ALIMENTOS

Los compuestos bioactivos (CB) son conocidos como nutraceuticos, y son aquellos compuestos esenciales y no esenciales que se producen en la naturaleza siendo parte de la cadena alimentaria (Biesalski et al., 2009). Son sustancias químicas que se encuentran en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal y en alimentos ricos en lípidos. No obstante, se ha señalado que los péptidos son considerados también compuestos bioactivos que provienen de proteínas de diferentes alimentos. Los péptidos han sido encontrados principalmente en las proteínas de la leche (Al-Shamsi et al., 2018) y en derivados de esta como quesos o yogurts. Pero también se ha observado su existencia en otras proteínas animales, pescados y diversos vegetales como soja, arroz o garbanzo e incluso hongos. En este sentido, un CB es aquel compuesto químico de origen vegetal o animal que ejerce un efecto beneficioso para alguna función corporal del individuo reduciendo un riesgo de enfermedad (Vioque y Millan, 2005).

Esta definición es reforzada por otros investigadores que indican que un compuesto bioactivo, es aquel metabolito secundario de origen vegetal y animal que aporta un beneficio a la salud más allá de los considerados como nutrición básica, y que son vitales para el mantenimiento del ser humano (Batchu et al., 2013; Hasler y Brown 2009; Patil et al., 2009). Dentro del término actividad biológica se deben diferenciar tres aspectos importantes: las funciones (papel esencial), las acciones (respuestas, beneficiosas o adversas, fisiológicas o farmacológicas) y las asociaciones

(correlaciones de los componentes de los alimentos) con algún aspecto o finalidad fisiológica o clínica que puede o no mostrar una relación causal (Olmedilla y Granada, 2008).

En el reino vegetal se pueden distinguir cuatro grandes grupos de CB: sustancias fenólicas, sustancias terpénicas, sustancias azufradas y sustancias nitrogenadas (alcaloides). De estos cuatro grupos, son los tres primeros los que tienen mayor importancia agroindustrial como constituyentes de las frutas y hortalizas y los alimentos derivados con relevancia en la alimentación humana (Tomás-Barberán, 2003).

**Las Sustancias fenólicas** presentes en los vegetales han sido de los compuestos bioactivos más estudiados, habiendo sido identificados más de 8.000 compuestos divididos en varias subclases (Navarro-González y Periago, 2016). Los polifenoles son un conjunto heterogéneo de moléculas con actividad antioxidante que incluye a los fenoles ácidos y flavonoides. Existe una gran variedad de fenoles ácidos distribuidos en productos de origen vegetal como son la curcumina, presente en el curry y la mostaza, el ácido cafeico, ferúlico y clorogénico que están presentes en frutas, semillas de café y soya (Milner, 2004). Los fenoles ácidos como: cumárico, caféico y ferúlico, inhiben la actividad de agentes mutágenos (Krizkova et al., 2000), estimulan la actividad de la enzima fenolsulfotransferasa implicada en la destoxicación de compuestos metabólicos potencialmente tóxicos (Yeh y Yen, 2003) y poseen actividad bactericida (Puupponen-Pimiä et al., 2001). Los flavonoides son los compuestos polifenólicos mejor estudiados que se caracterizan por tener una estructura de tres anillos formada de dos centros aromáticos y un heterociclo central oxigenado (Nijveltd et al., 2001). Dentro de los flavonoides con estructura básica C6-C3-C6, se incluyen a las antocianinas, los flavonoles, flavonas, las flavanonas, chalconas, dihidrochalconas, las isoflavo, isoflavonas y los flavan-3-oles (Tomás-Barberán, 2003).

**Las Sustancias Terpénicas** son moléculas lineales formadas de unidades poliméricas de isopreno con propiedades antioxidantes que protegen a lípidos y componentes celulares del ataque de agentes oxidantes como radicales libres de oxígeno, superóxido y grupos hidroxilo reactivos (Drago-Serrano, 2006). Los terpenos mejor conocidos son

el L (+) limoneno, el escualeno y los carotenoides, los cuales están ampliamente distribuidos en productos vegetales verdes, cereales y leguminosas. El L (+) limoneno es un monoterpeneo con moléculas únicamente de origen vegetal formadas por 10 carbonos isoprenoides y está presente en el aceite de la cáscara de cítricos y es precursor de otros monoterpeneos oxigenados monocíclicos como: carveol, carvona, mentol, alcohol perilil y perialdehído. El escualeno contiene seis unidades de isopreno y debe su nombre a que está presente en el aceite de hígado de tiburón, aunque también puede encontrarse en el aceite de amaranto, oliva, trigo, maíz y arroz. Los carotenoides son tetraterpenos que funcionan como antioxidantes. Los carotenoides más conocidos son el  $\beta$  caroteno,  $\alpha$  caroteno, luteína, zeaxantina y licopeno (Halsted, 2003) están presentes en vegetales amarillos y rojos, y son abundantes, entre otras frutas, en cítricos, cerezas, albaricoque, níspero, ciruela amarilla, mango, melocotón, papaya y tomates (Kris-Etherton et al., 2002).

**Las Sustancias Azufradas** son compuestos órgano-sulfurados, algunos solubles en agua y otros liposolubles con potente actividad antioxidante. Las sustancias azufradas predominan en algunas verduras de la familia de la col, cebollas, ajos, berro, calabazas, entre otros y (Martínez-Navarrete et al., 2008). Dentro de estas sustancias se encuentran S-alilcisteína (SAC) y el S-alilmercaptocisteína (SAMC), los cuales son los componentes más abundantes de extractos envejecidos de ajo y la absorción intestinal eficiente le permite distribuirse rápidamente en el plasma e hígado. Otra de la sustancia es Alicina, el cual es el tiosulfonato más abundante del ajo y es un compuesto organo sulfurado, citotóxico, liposoluble, altamente inestable y volátil. De igual forma, dentro de las azufradas se encuentran los Isotiocianatos, que son compuestos órgano-sulfurados presentes en el berro, calabaza, brócoli entre otros. Algunos isotiocianatos inhiben a las enzimas de la fase I del metabolismo como es el complejo citocromo oxidasa p450. Este complejo favorece la conversión metabólica de carcinógenos para transformarlos en derivados capaces de unirse covalentemente a macromoléculas para formar aductos de ADN o de proteínas.

**Las Sustancias Nitrogenadas** son compuestos nitrogenados que suelen ser biológicamente muy activos en todo el reino vegetal, no obstante, pueden

dar problemas de toxicidad aun en cantidades muy bajas en los alimentos, como en el caso del alcaloide de la solanina en la patata (Tomás-Barberán, 2003). Por esta razón, en general, los programas de mejora y selección de vegetales se han dirigido a tratar de reducir el contenido en estos compuestos potencialmente tóxicos.

Por otro lado, los **péptidos bioactivos** son secuencias de aminoácidos de pequeño tamaño, entre 2 y 15 aminoácidos, inactivas dentro de la proteína intacta pero que pueden activarse al ser liberados bien durante la digestión gastrointestinal del alimento en el organismo del individuo ejerciendo diversas funciones metabólicas beneficiosas o por un procesado previo del mismo, como por ejemplo las proteínas de la leche, que son hidrolizadas durante la fabricación del queso (Vioque y Millan, 2005). En este sentido, en los últimos años un particular interés científico se ha enfocado en péptidos bioactivos cifrados en la proteína de la leche, ya que muchas evidencias indican que estos péptidos podrían constituir una herramienta valiosa contra diferentes enfermedades humanas (Aguilar-Toala et al., 2017). Estos beneficios para la salud se han asociado con las numerosas actividades biológicas que incluyen antioxidantes, opioides, antihipertensivos, antitrombóticos, inmunomoduladores y antitumorales, entre otros (Sah et al., 2014). Los péptidos con más de una actividad se prefieren respecto a los péptidos de actividad única, porque pueden desencadenar, modular o inhibir simultáneamente múltiples vías fisiológicas (Agyei et al., 2015; Sistla, 2013). En este particular, los péptidos derivados de la leche reportados como multifuncionales, son los derivados de la lactoferrina, los fosfopéptidos derivados de la caseína y los péptidos quimiopépticos, obtenidos por hidrólisis enzimática usando pepsina, tripsina y quimotripsina, respectivamente (Agyei et al., 2015; Mandal et al., 2014; Sistla, 2013).

En la actualidad, a muchas de estas moléculas de origen vegetal y animal se les ha identificado y evaluado sus propiedades beneficiosas en la salud mediante estudios *in vivo* e *in vitro* (Navarro-González y Periago, 2016). Así mismo, los últimos avances biotecnológicos han permitido el desarrollo de nuevos productos agroindustriales incorporando compuestos bioactivos en diferentes matrices alimentarias. No obstante, todavía continúan las

investigaciones tanto para la identificación química, como en la búsqueda del efecto biológico de estas moléculas en la nutrición de los seres humanos.

## COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LA NUTRICIÓN HUMANA

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que la ingesta de frutas, verduras y bebidas, como vino o cerveza, disminuye la incidencia de factores de riesgo cardiovascular y otros procesos patológicos. Los compuestos bioactivos presentes en estos alimentos son los responsables de su efecto beneficioso (Batchu et al., 2013; Patil et al., 2009). Consistentes estudios epidemiológicos han concluido que existe una fuerte asociación entre el consumo vegetales (principalmente frutas y hortalizas) con una baja incidencia en el desarrollo de enfermedades como el cáncer (Reiss et al., 2012; Boffetta et al., 2010; Soerjomataram et al., 2010;) enfermedades cardiovasculares (George et al., 2012) y otras enfermedades crónicas (Cooper et al., 2012). Este efecto beneficioso de las frutas y hortalizas ha sido atribuido a un amplio grupo de moléculas químicas orgánicas denominadas fitoquímicos o CB, los cuales no son nutrientes esenciales y por tanto suponen un aporte extra nutricional. La composición en compuestos bioactivos de frutas y verduras es tan variada, tanto cualitativa como cuantitativamente, que se les asigna una actividad biológica muy versátil sobre la salud humana (Verschuren et al., 2011; Goldwasser et al., 2010; Cho et al., 2010).

En este particular, el consumo de mango (*Mangifera indica* L.), una de las frutas tropicales más importantes en producción a nivel mundial, proporciona cantidades significativas de compuestos bioactivos con un gran potencial para modular los factores de riesgo de enfermedades (Dembitsky et al., 2011; Machado y Schieber, 2010). Se ha informado que el contenido total de compuestos fenólicos en pulpa de mango oscila desde 9,0 hasta 208,0 mg/100 g (Gil, 2006). Los principales polifenoles del mango en términos de capacidad y/o la cantidad antioxidante son: manguiferina, catequinas, quercetina, kaempferol, ramnetina, antocianinas, ácidos gálico y ácido elágico. Los flavonoles (quercetina, kaempferol, y ramnetina) están presentes principalmente como O-glucósidos, mientras que Manguiferina es un C-Glicósido y se produce tanto en su forma no esterificada y conjugado con ácido gálico (Arrázola et al., 2013; Dembitsky et al., 2011).



Así mismo, el vino tinto contiene una gran cantidad y variedad de compuestos bioactivos, siendo los polifenoles uno de los más importantes, llegando a contener entre 1.000 y 4.000 mg/ L de los distintos tipos de polifenoles (Basli et al., 2012). Esta característica se ha relacionado con el aumento de la actividad antioxidante, debido al aumento del contenido fenólico producido tras el proceso de maceración y envejecimiento de los vinos, de manera que a mayor concentración de fenoles totales, mayor es la capacidad antioxidante de los vinos tintos (Mulero et al., 2011). Principalmente, la capacidad antioxidante de los vinos tintos ha sido tradicionalmente relacionada con su contenido en flavanoles, antocianos y ácido tartárico. Sin embargo, la concentración de polifenoles totales es más importante a la hora de valorar la actividad antioxidante de un vino (Frankel et al., 1995). La ingesta de vino tinto reduce el estrés oxidativo del organismo, medido por la excreción de isoprostanos en orina, en mayor medida que la ingesta de mosto y etanol. Este descenso se debe principalmente al contenido en hidroxitirosol. Asimismo, la ingesta de vino tinto ejerce un efecto cardioprotector al reducir la excreción urinaria de las prostaglandinas pro- inflamatorias (2,3-dinor-11- $\beta$ -PGF $2\alpha$ , U-44619 y U-44069) y aumentar la de prostaglandinas vasodilatadoras (PGE1), mediada por su contenido en melatonina e hidroxitirosol (Marhuenda-Hernández, 2016).

En el mismo orden de ideas, el consumo de extractos añejos de ajo disminuye el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, mutagénesis, cáncer y otros padecimientos crónico-degenerativos asociados a la vejez como la enfermedad de Alzheimer. En este sentido, los compuestos sulfurados antioxidantes SAC y SAMC inhiben el daño ocasionado por reacciones oxidativas generadas por la vejez o enfermedades, reducen los niveles sanguíneos de LDL, tienen un efecto anti-inflamatorio, antiatrogénico y antitrombótico relacionado a su capacidad de inhibir la síntesis de prostanoides (Borek, 2001).

Por otro lado, los productos desarrollados con cereales, como el pan, han sido enriquecidos con complementos bioactivos, se han incorporado polifenoles de frutas como grosella y cereza para el enriquecimiento de los panes, incrementando la capacidad antioxidante. En este sentido, los fenoles

ácidos como cumárico, caféico y ferúlico, inhiben la actividad de agentes mutágenos (Krizkova et al., 2000), estimulan la actividad de la enzima fenolsulfotransferasa implicada en la destoxicación de compuestos metabólicos potencialmente tóxicos (Yeh y Yen, 2003) y poseen actividad bactericida (Puupponen-Pimiä et al., 2001).

En el caso de la tecnología de lácteos no se ha quedado atrás en la aplicación de compuestos bioactivos en matrices alimentarias, pues los últimos avances muestran la inclusión de extractos de frutas en los procesos de fabricación de derivados lácteos como yogures y quesos, obteniendo resultados muy positivos en la funcionalidad de los productos terminados que proporcionan una excelente nutrición (Cardenas-Baquero et al., 2016). Además de esto, en los últimos años un particular interés científico se ha enfocado en péptidos bioactivos cifrados en la proteína de la leche, ya que muchas evidencias indican que estos péptidos podrían constituir una herramienta valiosa contra diferentes enfermedades humanas (Aguilar-Toala et al., 2017). Estos beneficios para la salud se han asociado con las numerosas actividades biológicas que incluyen antioxidantes, opioides, antihipertensivos, antitrombóticos, inmunomoduladores y antitumorales, entre otros (Sah et al., 2014). Los péptidos con más de una actividad se prefieren respecto a los péptidos de actividad única, porque pueden desencadenar, modular o inhibir simultáneamente múltiples vías fisiológicas (Agyei et al., 2015; Sistla, 2013;). En este sentido, los péptidos derivados de la leche reportados como multifuncionales, son los derivados de la lactoferrina, los fosfopéptidos derivados de la caseína y los péptidos quimiotrénicos, obtenidos por hidrólisis enzimática usando pepsina, tripsina y quimotripsina, respectivamente (Agyei et al., 2015; Mandal et al., 2014; Sistla, 2013).

#### **MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS**

El interés que existe por la relación de los compuestos bioactivos en alimentos y los beneficios a la salud ha dado lugar al desarrollo de una gran variedad de métodos analíticos en los que se incluyen las etapas de extracción, separación y cuantificación. En la extracción las dos técnicas más utilizadas son la extracción por disolventes orgánicos y la extracción con fluidos supercríticos. Varios métodos analíticos están disponibles para identificar los

compuestos bioactivos en alimentos, pero según Porgali y Büyüktünel (2012) la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) y la cromatografía de gases (GC) son los más ampliamente utilizados. No obstante, en la Tabla 01 se visualizan estudios recientes y se demuestra que la cromatografía de líquidos de alta eficiencia es la técnica hoy día más empleada para la extracción y cuantificación de compuestos bioactivos (Nardini y Garaguso, 2020; De Oliveira et al., 2020; Ortega-Sanchez et al., 2020; Valentin et al., 2020), en vista que es un método con alta sensibilidad y alta eficiencia en la separación, en el que normalmente se usa una columna C18 en fase invertida con un sistema binario de disolventes que consiste en agua acidificada y un disolvente orgánico polar. Sin embargo, también se han descrito otros métodos para la extracción y cuantificación de compuestos bioactivos como la extracción asistida con ultrasonido (EAU): Normal y Pulsado (Chakraborty et al., 2020), extracción con absorción de barra agitada (SBSE) con el sistema cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) (Santos-Leite et al., 2019), así como la extracción con electroforesis capilar, que es otra técnica alternativa para la separación y determinación de algunos compuestos bioactivos, debido a su eficacia en la separación y rapidez del proceso y bajo consumo de muestras y reactivos (Al-Shamsi et al., 2018). También se han realizado extracciones asistidas por enzimas, entre otros métodos (Tabla 1).

Sin embargo, algunas veces el método a utilizar para la identificación de compuestos bioactivos depende del tipo de alimento. Aun cuando en los vinos se ha usado comúnmente HPLC, existen otras técnicas que han ganado popularidad, y es el caso de las técnicas de la espectroscopia vibracional (Bevilacqua et al., 2013) debido a sus características: velocidad, fiabilidad, sin esfuerzo, respetuoso con el ambiente, requiere tratamientos de mínima muestra, capacidad para procesar muestras grandes en poco tiempo. Por lo tanto, son una alternativa al método más convencional para el análisis químico. La ventaja de usar espectros infrarrojos es que representa la absorbancia combinada de todos los componentes en la matriz del vino, en lugar de simplemente la composición de unos pocos compuestos químicos (Bevin et al., 2006). Además, este método permite el acoplamiento con las técnicas multivariante para desarrollar modelos predictivos. Un ejemplo de

esto es la espectroscopia de infrarrojo medio de transformación de Fourier (FT-MIR) acoplado a la quimiometría, que ha sido aplicada en el análisis y cuantificación de una amplia gama compuestos bioactivos (Grijalva-Verdugo et al., 2018; Preserova et al., 2015; Silva et al., 2014; Fragoso et al., 2011).

## CONCLUSIONES

Los compuestos bioactivos o fitoquímicos son aquellas sustancias químicas esenciales y no esenciales, considerados metabolitos secundarios que provienen del reino vegetal o animal y que aportan un beneficio extra nutricional muy versátil sobre la salud, para alguna función corporal del individuo reduciendo un riesgo de enfermedad. No existe una clasificación definitiva para los compuestos bioactivos, en vista de su reciente, constante y creciente avance, sin embargo, se pueden agrupar en sustancias fenólicas, sustancias terpénicas, sustancias azufradas, sustancias nitrogenadas y péptidos bioactivos, y generalmente estos compuestos se encuentran en alimentos, principalmente en frutas, verduras, nueces, aceites, granos integrales, proteínas de la leche, pescados, entre otros.

La cromatografía de líquidos de alta eficiencia es la técnica hoy día más empleada para la extracción y cuantificación de compuestos bioactivos, en vista que es un método con alta sensibilidad en los detectores, alta especificidad, alta eficiencia en la separación y que además los componentes de la muestra se distribuyen por afinidad entre una fase móvil líquida y la fase estacionaria, no obstante también se usan otras técnicas como la extracción asistida por ultrasonido, normal y pulsada, extracción con absorción de barra agitada (SBSE) con el sistema cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, electroforesis capilar, espectroscopia de infrarrojo, así como métodos colorimétricos.

**Tabla 1.** Estudios recientes donde se demuestran los métodos-equipos utilizados en el análisis de compuestos bioactivos en alimentos, su efecto metabólico y efecto en la salud.

| ALIMENTO  | METODOS-EQUIPOS  | COMPUESTO BIOACTIVO   | EFEECTO METABÓLICO  | EFECTOS EN LA SALUD   | REFERENCIA                    |
|---|--|---|---|---|-------------------------------|
| Cervezas de: Cereza, frambuesa, durazno, albaricoque, uva, ciruela, naranja y Manzana | HPLC   | Flavonoides<br>Catequina, Quercetina<br>Miricetina, Resveratrol<br>Ácidos Fenólicos<br>(clorogénico, neoclorogénico, p-cumárico y cafeico). | Posible modificación oxidativa de las lipoproteínas de baja densidad (LDL)      | Prevención de enfermedades cardiovasculares y de algunos tipos de cáncer  | Nardini y Garaguso, 2020.     |
| Vinos   | HPLC acoplado a espectrómetro de masas de triple cuadrupolo (MS / MS)  | Ácido Galico<br>Ácido cafeico<br>Quercetina<br>Ácido ferúlico<br>Resveratrol  | Propiedades antioxidantes   | Reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y proporciona actividad: Dermoprotector, Hepatoprotector Anticancerígeno, | Valentin et al., 2020         |
| Calabaza amarga o Melón amargo  | Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU): Normal y Pulsado            | Polifenoles totales   | Antioxidante natural  | Disminuye estrés oxidativo  | Chakraborty et al., 2020      |
| Aroeira (Pimienta Brasileña o Rosa)   | U-HPLC Espectrometría de masa iónica                                   | Flavonoides<br>Biflavonoides<br>Caroteno<br>Ácido linoleico   | Antioxidante natural  | Disminuye el daño causado por estrés oxidativo  | De Oliveira et al., 2020      |
| Maracuyá (Passiflora setacea)   | HPLC Shimadzu Espectrofotómetro  | Perfil Flavonoides<br>Aminas Bioactivas<br>Vitamina C<br>Fenoles Totales  | Propiedades antioxidantes<br>Mayor Fagocitosis de Patógenos y Células tumorales | Favorece el sistema inmunológico  | Ortega-Sanchez et al., 2020   |
| Bagazo de Maracuyá  | Extracción de Líquido a Presión (PLE) Asistida por Ultrasonido.        | Compuestos Fenoles<br>Piceatannol<br>Estilbeno  | Propiedades antioxidantes   | Posible prevención contra peroxidación de lípidos y ácidos nucleicos, aterogénesis y cáncer.  | Viganó et al., 2020           |
| Guanabana y Polvo de Guanabana  | Extracción con Absorción de Barra Agitada (SBSE) con el sistema GC-MS) | Fenoles Totales<br>Carotenoide<br>Flavonoides   | Propiedades antioxidantes   | Disminuye posibilidades de infartos de miocardios   | Santos-Leite et al., 2019.    |
| Leche de Camello  | Electroforesis HPLC  | Péptidos Bioactivos   | Propiedades antioxidantes   | Previenen enfermedades degenerativas y envejecimientos  | Al-Shamsi et al., 2018        |
| Vinos Cabernet Sauvignon  | Espectroscopia infrarroja media por transformada de Fourier (FT-MIR)   | Fenólicos Totales<br>Antocianinas totales,<br>Taninos, Flavonoides.   | Propiedades antioxidantes   | Reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y cancerígenas  | Grijalva-Verdugo et al., 2018 |
| Té de Hierbas   | Métodos colorimétricos HPLC  | Polifenoles totales<br>Flavonoides<br>Proantocianidinas<br>Taninos, Carotenoides<br>Alcaloides  | Propiedades antioxidantes   | Previene enfermedades cardiovasculares  | Qasim et al., 2017            |
| Helado a base de Caqui (Kaki)   | Espectrofotómetro Agilen 8453  | Actividad antioxidante  | Propiedades antioxidantes   | Disminuye el estrés oxidativo   | Karaman et al., 2014          |

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguilar-Toalá, J.E; Santiago-López, L; Peres†, C.M; Peres‡, C; Garcia§, H.S; Vallejo-Cordoba, B; González-Córdova, A.F. y Hernández-Mendoza, A. 2017. Assessment of multifunctional activity of bioactive peptides derived from fermented milk by specific *Lactobacillus plantarum* strains. *Journal of Dairy Science*, 100 (1): 65-75. Recuperado de <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11846>
- Agyei, D; Potumarthi, R; Danquath. M.K. 2015. Food-derived multifunctional bioactive proteins and peptides: Sources and production V.K. Gupta, M.G. Tuohy (Eds.), *Biotechnology of Bioactive Compounds. Sources and Applications*, Wiley Blackwell, Oxford, UK, pp. 483-506.
- Alasalvar, C; Salvadó, J.S; Ros, E. 2020. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. *Food Chemistry*, 314 (1): 126192. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126192>
- Al-Shamsi, K. A; Mudgil, P. Mohamed-Hassan, H. y Maqsood, S. 2018. Camel milk protein hydrolysates with improved technofunctional properties and enhanced antioxidant potential in vitro and in food model systems. *Journal of Dairy Science*, 101(1): 47-60. Recuperado de <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13194>
- Arrázola, G., Rojano, A., Díaz, A. 2013. The antioxidant capacity of five mango cultivars (*Mangifera indica* L.) and evaluation of its performance in a food matrix. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7 (2): 161-172.
- Batchu, S., Chaudhary, K., Wiebe, G., Seubert, J. 2013. *Bioactive Compounds in Heart Disease*, Chapter 28. *Bioactive Food as Dietary Interventions for Cardiovascular Disease*. University of Alberta, Edmonton, AB, Canada.
- Basli, A; Soulet, S; Chaher, N; Mérillon, J.M; Chibane, M; Monti, J.P; Richard, T. 2012. Wine polyphenols: Potential agents in neuroprotection. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*.
- Bevilacqua, M; Bucci, R; Materazzi, S; Marini, F. 2013. Application of near infrared (NIR) spectroscopy coupled to chemometrics for dried egg-pasta characterization and egg content quantification. *Food Chemistry*, 140(4), 726–734. Recuperado de [doi:10.1016/j.foodchem.2012.11.018](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.018)
- Bevin, C. J; Fergusson, A. J; Perry, W. B; Janik, L. J; Cozzolino, D. 2006. Development of a rapid “fingerprinting” system for wine authenticity by mid-infrared spectroscopy. *Journal of Agricul.*
- Biesalski, H; Dragsted, L; Elmadafa, I; Grossklaus, R; Muller, M; Schrenk, D; Walter, P; Weber, P. 2009. Bioactive compounds: Safety and efficacy. *Special article Nutrition* 25 (12): 1206 – 1211.
- Boffetta, P; Couto, E; Wichmann, J; Ferrari, P; Trichopoulos, D; Bueno de Mesquita, H.B. 2010. Fruit and vegetable intake and overall cancer risk in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC). *J Natl Cancer Inst.*; 102(8): 529-37.
- Borek C. 2001. Antioxidant health effects of aged garlic extract. *Journal of Nutrition*, 131 (3S): 1010S–1015S.
- Cárdenas-Baquero, G; Arrazola G; Villalba, M. 2016. Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium*, 33: 29-40.
- Chakraborty, S; Uppaluri, R; Das, C. 2020. Optimization of ultrasound-assisted extraction (UAE) process for the recovery of bioactive compounds from bitter gourd using response surface methodology (RSM). *Food and Bioproducts Processing*, 120 (March): 114-122. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.01.003>
- Cho, A-S; Jeon, S-M; Kim, M-J; Yeo, J; Seo, K-I; Choi, M-S. 2010. Chlorogenic acid exhibits anti-obesity property and improves lipid metabolism in high-fat diet-induced-obese mice. *Food Chem Toxicol.* 48(3): 937-43.
- Cooper, A.J; Forouhi, N.G; Ye, Z; Buijsse, B; Arriola, L; Balkau, B. 2012. Fruit and vegetable intake and type 2 diabetes: EPICInterAct prospective study and meta-analysis. *Eur J Clin Nutr.* 66(10): 1082-92.
- Dembitsky, V., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S., Gorinstein, S. 2011. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International* 44 (7): 1671 – 1701.
- De Oliveira, V.S; Augusta I.M; Da Conceição-Braz M; Riger, C.J; Ribeiro, E. P; Frankland-Sawaya A; Rodrigues-Sampaio G; Ferraz da Silva, E.A. y Saldanha, Tatiana. 2020. Aroeira fruit (*Schinus terebinthifolius* Raddi) as a natural antioxidant:



- Chemical constituents, bioactive compounds and in vitro and in vivo antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 315: 126274. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126274>
- Drago-Serrano, M; López-López, M; Sainz-Espuñes, T. 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37 (4): 58-68.
- Fragoso, S; Aceña, L; Guasch, J; Mestres, M; Busto, O. 2011. Quantification of phenolic compounds during red winemaking using FT-MIR spectroscopy and PLS-regression. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(20): 10795–10802. Recuperado de [doi:10.1021/jf201973e](https://doi.org/10.1021/jf201973e)
- Frankel, E.N; Waterhouse, A.L; Teissedre, P.L. 1995. Principal phenolic phytochemicals in selected California wines and their antioxidant activity in inhibiting oxidation of human low-density lipoproteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(4):890-894.
- George, T.W; Paterson, E; Waroonphan, S; Gordon, M.H; Lovegrove, J.A. 2012. Effects of chronic consumption of fruit and vegetable puree-based drinks on vasodilation, plasma oxidative stability and antioxidant status. *J Hum Nutr Diet*, 25(5): 477-87.
- Gil, M; Aguayo, E; Kader, A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: (12) 4284 – 4296.
- Goldwasser, J; Cohen, P.Y; Yang, E; Balaguer, P; Yarmush, M.L; Nahmias, Y. 2010. Transcriptional regulation of human and rat hepatic lipid metabolism by the grapefruit flavonoid naringenin: role of PPARalpha, PPARgamma and LXRalpha. *PLoS ONE*. 5(8): e12399.
- Grijalva-Verdugo, C; Hernández-Martínez, M; Meza- Márquez, O. G; Gallardo-Velázquez, T. y Osorio-Revilla, G. 2018. Espectroscopía FT-MIR y análisis multivariante para la determinación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en los vinos Cabernet Sauvignon. *CYTA – journal of food*, 16 (1): 561–569.
- Guo, Q; Wang, N; Liu, H; Li, Z; Lu, L; Wang, C. 2020. The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L.–A review. *Journal of Functional Foods*, 65 (February): 103727. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
- Halsted C.H. 2003. Dietary supplements and functional foods: 2 sides of a coin? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(Suppl):1001S-1007S.
- Hasler, C.M; Brown, A.C. 2009. American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: functional foods. *J Am Diet Assoc*. 109(4): 735-746.
- Jackson, R. S. 2016. Wines: Wine and health. In Caballero, B; Finglas, P. M; Toldrá (Eds.), *F. Encyclopedia of food and health* (pp. 562–571). Oxford, UK: Academic Press.
- Karaman, S; Said-Toker†, Ö; Yüksel, F; Çam, M; Kayacier, A. y Dogan, M. 2014. Physicochemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. *Journal of Dairy Science*, 97(1): 97-110. Recuperado de <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7111>
- Kris-Etherton, P.M; Hecker, K.D; Bonanome, A; Coval, S.M; Binkoski, A.E; Hilpert, K.F. 2002. Bioactive compounds in food: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *Am J Med.*; 113:71-88.
- Krizkova, L; Nagy, M; Polonyi, J; Dobias, J; Belicova, A; Grancai, D; Krajcovic, J. 2000. Phenolic acids inhibit chloroplast mutagenesis in *Euglena gracilis*. *Mutation Research*, 469 (1): 107-104.
- Machado, S; Schieber, A. 2010. Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera Indica* L.). Federal University of Vicosa, Department of Health and Nutrition, Vicosa, Minas Gerais State, Brazil. Chapter 34.
- Mandal, S.M; Bharti, R; Porto, W; Gauri, S.S; Mandal, M; Franco, O. y Ghosh, A.K. 2014. Identification of multifunctional peptides from human milk *Peptides*, 56: 84-93. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.peptides.2014.03.017>
- Marhuenda-Hernández, J. 2016. Compuestos bioactivos en vino tinto y su efecto sobre el estrés oxidativo y marcadores vasculares, de inflamación, mutagénesis y degeneración del sistema nervioso central tras su ingestión dietética por voluntarios sanos. Universidad Católica de Murcia. Programa de Doctorado en Nutrición y Seguridad Alimentaria. Tesis Doctoral. 200 pg.
- Martínez-Navarrete, N; Camacho Vidala, M;

- Martínez Lahuerta, J. J. 2008. Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12(2):64-8.
- Milner J.A. 2004. Molecular targets for bioactive food components. *Journal of Nutrition*, 134(9):2492S-2498S.
- Mulero, J; Zafrilla, P; Cayuela, J.M; Martínez-Cachá, A. Pardo, F. 2011. Antioxidant activity and phenolic compounds in organic red wine using different winemaking techniques. *Journal of Food Science*, 76(3):436-40.
- Nardini, M. y Garaguso, I. 2020. Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity of fruit beers. *Food Chemistry*, 305 (1): 125437. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125437>
- Navarro-González, I. y Periago, M. J. 2016. El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional? *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4): 323 – 335.
- Nijveltd, R.J; van Nood, E; van Hoorn, D. E.C; Boelens, P.G; van Norren, K; van Leewen, P.A.M. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 74 (4):418-425.
- Olmedilla Alonso B, Granado Lorenzo F. 2008. Componentes bioactivos. En: *Alimentos Funcionales. Aproximación a una Nueva Alimentación*. Dirección general de salud pública y alimentación; 170-93.
- Ortega-Sanchez, B; Costa-Celestino, S; De Abreu, M. B; Costa-Celestino, I; OrdóñezLozada, M; Araújo-Júnior S; Rodrigues de Alencar, E. y De Oliveira, L. 2020. Pasteurization of Passion Fruit *Passiflora Setacea* Pulp To Optimize Bioactive Compounds Retention. *Food Chemistry*. In Press. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2020.100084>
- Patil, B; Jayaprakasha, G; Chidambara, K; Vikram, A. 2009. Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (18): 8142 – 8160.
- Porgali, E; y Büyüktuncel, E. 2012. Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of native red wines by high performance liquid chromatography and spectrophotometric methods. *Food Research International*, 45(1): 145–154. Recuperado de [doi:10.1016/j.foodres.2011.10.025](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.10.025)
- Preserova, J., Ranc, V., Milde, D., Kubistova, V., & Stavek, J. 2015. Study of phenolic profile and antioxidant activity in selected Moravian wines during winemaking process by FT-IR spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10): 6405–6414. Recuperado de [doi:10.1007/s13197-014-1644-8](https://doi.org/10.1007/s13197-014-1644-8)
- Puupponen-Pimiä R; Nohynek, L; Meier, C; Kähkönen, M; Heinonen, M; Hopia, A; Oksman-Caldentey, K.M. 2001. Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries. *Journal of Applied Microbiology*, 90 (4): 494-507.
- Qasim, M; Abideen, Z; Adnana, M.Y; Gulzar, S; Gul, B; Rasheed, M; Khan, M.A. 2017. Antioxidant properties, phenolic composition, bioactive compounds and nutritive value of medicinal halophytes commonly used as herbal teas. *South African Journal of Botany*, 110: 240-250. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.005>
- Radovich, T.J.K. 2011. Biology and classification of vegetables. N.K. Sinha, Y.H. Hui, E.O. Evranuz M. Siddiq, J. Ahmed (Eds.), *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, Blackwell Publishing Ltd, Iowa, USA, pp. 1-22.
- Renard, C.M. 2018. Extraction of bioactives from fruit and vegetables: State of the art and perspectives. *LWT*, 93 (July): 390-395. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.063>
- Reiss, R; Johnston, J; Tucker, K; DeSesso, J.M; Keen, C.L. 2012 Estimation of cancer risks and benefits associated with a potential increased consumption of fruits and vegetables. *Food Chem Toxicol*, 50(12): 4421-4427.
- Sah, B.N; Vasiljevic, T; Mckechnie, S; Donkor, O.N. 2014. Effect of probiotics on antioxidant and antimutagenic activities of crude peptide extract from yogurt. *Food Chem.*, 156: 264-270. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.105>
- Santos-Fernandes, S; Silveira-Coelho, M; Salas-Mellado, M. 2019. Chapter 7 - Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. *Bioactive Compounds, Health Benefits and Potential Applications*: 129-142. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00007-4>

- Santos-Leite, M. T; Silvade Jesus, N. M; Alves da Silva, J; Santos-Araujo, H. C; Dutra-Sandes, R; Shanmugam, S; Narain, N. 2019. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. *Food Research International*, 124 (October): 70-77. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.039>
- Silva, S. D; Feliciano, R. P; Boas, L. V; Bronze, M. R. 2014. Application of FTIR-ATR to Moscatel dessert wines for prediction of total phenolic and flavonoid contents and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 150: 489–493. Recuperado de doi:10.1016/j.foodchem.2013.11.028
- Sinha, N.K; Hui, Y.H; Evranuz, E.O; Siddiq, M; Ahmed, J. (Eds.). 2011. *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*, Blackwell Publishing Ltd, Iowa, USA.
- Sistla, S. 2013. Structure-activity relationship of  $\alpha$ -casein peptides with multifunctional biological activities. *Mol. Cell. Biochem*, 384: 29-38. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s11010-013-1778-4>
- Soerjomataram, I; Oomen, D; Lemmens, V; Oenema, A; Benetou, V; Trichopoulou, A. 2010. Increased consumption of fruit and vegetables and future cancer incidence in selected European countries. *Eur J Cancer*. 46(14): 2563-80.
- Tomás-Barberán F.A. 2003. Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 10:41-53.
- Valentin, L; Barroso, L; Barbosa, R. M; De Paulo, G.I; Castro, A. 2020. Chemical typicality of South American red wines classified according to their volatile and phenolic compounds using multivariate analysis. *Food Chemistry*, 302 (1): 125340. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125340>
- Verschuren, L; Wielinga, P.Y; van Duyvenvoorde, W; Tijani, S; Toet, K; van Ommen, B. 2011. A dietary mixture containing fish oil, resveratrol, lycopene, catechins, and vitamins E and C reduces atherosclerosis in transgenic mice. *J Nutr*. 141(5): 863-9.
- Viganó, J; De Paula-Assis, B. F; Náthia-Neves, G; Santos, P; Meireles, A. A; Carvalho-Veggi, P; Martínez, J. 2020. Extraction of bioactive compounds from defatted passion fruit bagasse (*Passiflora edulis* sp.) applying pressurized liquids assisted by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64: 104999. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104999>
- Vioque, J. y Millán, F. 2005. Los péptidos bioactivos en alimentación: nuevos agentes promotores de salud. *JOUR*. 26. En línea [https://www.researchgate.net/publication/39389861\\_Los\\_peptidos\\_bioactivos\\_en\\_alimentacion\\_nuevos\\_agentes\\_promotores\\_de\\_salud](https://www.researchgate.net/publication/39389861_Los_peptidos_bioactivos_en_alimentacion_nuevos_agentes_promotores_de_salud)
- Wang, N.F; Zhang, X.J; Wang, S.W; Guo, Q.B; Li, Z.J; Liu, H.H. 2020. Structural characterisation and immunomodulatory activity of polysaccharides from white asparagus skin *Carbohydrate Polymers*, 227: 115314, 10.1016/j.carbpol.2019.115314
- Yeh C.T., Yen G.C. 2003. Effects of phenolic acids on human phenolsulfotransferases in relation to their antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51(5): 1474-1479.