

© 2022 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-14, 2022.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.508>

Litchi (*Litchi chinensis*): Generalidades, actividad biológica y aplicaciones

¹Guillermo Castillo-Olvera, ¹María Luisa Carrillo-Inungaray,
¹Abigail Reyes-Munguía, ²Diana Beatriz Muñiz-Marquez,
³Leidy Johana Valencia-Hernández y ^{1*}Jorge Enrique Wong-Paz*

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Estudios Profesionales, Zona Huasteca, Ciudad Valles, San Luis Potosí 79060, México. ²Tecnológico Nacional de México/ I. T. de Ciudad Valles. Departamento de Ingeniería, Col. Vista Hermosa 79010, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. ³Grupo de Investigación de Bioprocesos y Bioproductos, Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo 25280, Coahuila, México.*E-mail: jorge.wong@uaslp.mx

RESUMEN

Litchi chinensis es un árbol frutal, comúnmente, conocido como litche o lychee, de la familia Sapindaceae y originario del sur de China. Actualmente se cultiva en más de 20 países con áreas tropicales y subtropicales. El fruto tiene un alto valor nutritivo y comercial por su agradable sabor, su jugoso arilo y un atractivo color rojo intenso. En la antigüedad diversas culturas lo utilizaron como una medicina tradicional para el tratamiento de diferentes enfermedades, entre ellas la tos, las úlceras, la diabetes, la obesidad, los dolores epigástricos y los neurálgicos. En la literatura se reporta al litchi y sus diferentes partes (hojas, flores, pulpa, semilla y pericarpio) con una alta cantidad de compuestos bioactivos, de una fuerte actividad biológica por ser antioxidante, antimicrobiano, antiviral, antidiabético, anticanceroso, antiobesidad, antiinflamatorio, hepatoprotector y analgésico. En esta revisión se describen sus características botánicas, su distribución, su composición química con énfasis en los compuestos bioactivos que contiene y su actividad biológica, así como usos, aplicaciones y perspectivas de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética con la finalidad de elaborar productos novedosos y útiles para el humano.

Palabras clave: actividad biológica, medicina tradicional, compuestos bioactivos.

Litchi (Litchi chinensis): Generalities, biological activity and applications

ABSTRACT

Litchi chinensis is a fruit tree known as litchi or lychee, of the Sapindaceae family and native to southern China. It is currently cultivated in more than 20 countries with tropical and subtropical areas. The fruit has a high nutritional and commercial value due to its pleasant flavor, juicy aril, and attractive deep red color. In ancient times, various cultures used it as a traditional medicine to treat different diseases, including coughs, ulcers, diabetes, obesity, and epigastric and neuralgic pains. In the literature, litchi and its different parts (leaves, flowers, pulp, seed, and pericarp) are reported to have a high amount of bioactive compounds, with strong biological activity as antioxidant, antimicrobial, antiviral, antidiabetic, anticancer, anti-obesity, anti-inflammatory, hepatoprotective and analgesic. This review describes its botanical characteristics, distribution, and chemical composition with emphasis on the bioactive compounds it contains and its biological activity, as well as its uses, applications, and perspectives of interest for the food, pharmaceutical, and cosmetic industries in order to develop novel products useful for humans.

Key words: biological activity, traditional medicine, bioactive compounds.

INTRODUCCIÓN

Litchi (*Litchi chinensis* Sonn) es un árbol que pertenece a la familia Sapindaceae, de clima tropical y subtropical, originario de China, es cultivado en el sudeste de Asia y en el norte de Vietnam, desde hace más de 2,300 años (Emanuele, Lauricella, Calvaruso, D'Anneo & Giuliano *et al.*, 2017; Sung, Yang & Kim, 2012).

El árbol de litchi categorizado como no climatérico, llega a medir hasta 20 m de altura, de hoja perenne, su fruta tiene una longitud de 3 a 4 cm y un diámetro de 3 cm, redondeado, ovoide, acorazado, su color es rojo intenso. El fruto posee un alto valor nutritivo y comercial por su agradable, refrescante y jugoso arilo (Bhoopat *et al.*, 2011). Además, el litchi tiene un alto contenido de: carbohidratos, fibras, minerales, carotenoides, polifenoles y vitaminas B1, B6, C, E y K. En la medicina tradicional la cáscara, la pulpa, las semillas, las hojas y las flores se usan en el tratamiento de la diabetes, la obesidad y las úlceras de estómago, es desparasitante, antifebril; útil en los trastornos intestinales, en la disentería, la gastralgia, la neuralgia, la orquitis, la hinchazón testicular, y la viruela; también se emplea como tónico para el corazón, el hígado y el cerebro. Su alto contenido de compuestos bioactivos son los responsables de su actividad biológica al ser antioxidante, anticancerígeno, antiinflamatorio, antimicrobiano, hepatoprotector y por consiguiente benéfico para la salud humana (Emanuele *et al.*, 2017; Lv *et al.*, 2015; Miranda-Hernández *et al.*, 2019). En esta revisión se describen las características botánicas, la distribución, la composición química con énfasis en sus compuestos bioactivos y su actividad biológica, así como los usos, las aplicaciones y las perspectivas de interés para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética con el fin de elaborar productos novedosos para el beneficio humano.

METODOLOGÍA

La recopilación de la información sobre la descripción botánica, el cultivo, la distribución etno-medicinal, las actividades biológicas, los compuestos bioactivos y la aplicación industrial se realizó a través de una búsqueda en las siguientes bases de datos científicas: ScienceDirect, Springer, Google Académico, Scopus y PubMed, en el idioma inglés, entre los años 2017 a 2022. Los datos obtenidos se organizaron, clasificaron, analizaron y resumieron de acuerdo al área de trabajo. En cuanto al estudio bibliométrico se utilizaron diferentes palabras clave relacionadas con la fruta del litchi, que incluyeron: *litchi chinensis*, caracterización; *litchi chinensis*, actividad biológica; *litchi chinensis*, compuestos bioactivos; *litchi chinensis*, usos medicinales y *litchi chinensis*, aplicaciones. Las estructuras químicas se obtuvieron de los artículos científicos, y se esquematizaron con el programa ChemBasic.

RESULTADOS

Litchi (*Litchi chinensis*)

Características botánicas

A *Litchi chinensis* se le conoce con diversos nombres: ciruela china, lichee, lyche, cereza de la china, nuez china y mamonsillo chino, entre otros (SIAP, 2018). Es un árbol, como se mencionó, de la familia Sapindaceae, de clima tropical o subtropical con una altura entre los 10 – 20 m. Tiene una copa redonda y densa, tronco y ramas lisos y una corteza de color marrón grisáceo (Figura 1). Las hojas son del tipo perenne, pinnadas, coriáceas, puntiagudas elípticas o lanceoladas de hasta 15 cm de largo y de entre 3 y 5 cm de ancho de un color rojo o verde claro brillantes, con el tiempo cambian a un verde oscuro. Las flores son entre blancas verdosas a amarillentas, masculinas o femeninas, crecen en las panículas terminales de las ramas con o sin hojas. La fruta tiene una longitud de 3 a 4 cm y 3 cm de diámetro, es ovalada de corteza áspera y correosa, en un inicio su color es verde que va cambiando a rosa y pasa a un rojo intenso conforme madura, después de dos o tres días de la cosecha se vuelve color marrón. El arilo es de color blanco, translúcido, de sabor dulce y refrescante: en su centro contiene una semilla oblonga de superficie lisa y brillante, color marrón (Bhalla-Sarin, Prasad, Kantharajah & Jain, 2003; Emanuele *et al.*, 2017; Ibrahim & Mohamed, 2015; Soni & Agrawal, 2017; Sung *et al.*, 2012).

Cultivo y distribución

Los productores principales de litchi a nivel mundial son China, Vietnam, Tailandia, India, Bangladesh, Nepal, Sudáfrica,



Figura 1. Árbol frutal de litchi (*Litchi chinensis*) cultivado en la Huasteca Potosina (Huichihuyan, San Luis Potosí, México). Fotografía: Guillermo Castillo-Olvera.

Madagascar, Mauricio, y Australia, que constituyen el 95 % de la producción (Muthusamy, Swathy & Kiran, 2017).

El litchi (*Litchi chinensis*) es un árbol originario del sur de China que data del año 2000 a.C. y se desarrolla en los bosques húmedos de la provincia de Hainan, en las áreas montañosas de Guangdong y Fujian, en las montañas de Bavi, Tamdao, Tuyenhao y Myanmar del norte de Vietnam (Long *et al.*, 2015). El cultivo de litchi se extiende en China al sur de la provincia Sichuan y sur de la provincia Hainan. La producción comercial está en Guangdong, Guangxi, Fujian y en la provincia de Hainan.

La distribución mundial del árbol de litchi, procedente de China, comenzó a finales del siglo XVII, en Birmania (Myanmar) convirtiéndose en el primer país en tener un cultivo de litchi, 100 años después llegó a India y a Tailandia; en el año 1870 a Madagascar y a Mauricio; en 1873 por medio de un comerciante chino se introdujo a la isla de Hawai. El cultivo de litchi, se introdujo en Florida entre los años 1870 a 1880 y de India a California en 1897. Posteriormente entre 1930 y 1940 se empezó a cultivar en Israel y llevado a Australia por inmigrantes chinos (Figura 2). Actualmente el litchi, es cultivado en Asia, África y en el centro y sur de América (Chang, Chen & Chen, 2017; Koul & Singh, 2017).

Los últimos estudios están enfocados a las áreas de vida útil y encapsulación, nanociencia, diseños de productos bioactivos, postcosecha y control biológico, donde estos dos últimos

representan el 83 % de las publicaciones científicas, que han sido reportadas por grupos de investigadores de países como China, Canadá, India, Brasil y España, entre otros (Figura 3). Algunas áreas de trabajo exploradas en la actualidad son las relacionadas al estudio de los compuestos bioactivos con propiedades biológicas, principalmente anticancerígenas y neurodegenerativas.

Uso medicinal

El litchi ha sido utilizado por las culturas antiguas en la medicina tradicional, a partir de prácticamente todo el árbol, desde la corteza, las raíces, las flores, las hojas y del fruto la pulpa, la semilla y la cáscara. En china el uso de estas partes ha ganado popularidad para el tratamiento de la tos, la gastralgia, la neuralgia, la orquitis, la hinchazón testicular, la viruela y las hernias, entre otras. Los diferentes usos etnomedicinales, métodos tradicionales de preparación y de consumo, se muestran a continuación en una descripción general de algunas propiedades medicinales de relevancia.

La semilla se utiliza por su propiedad analgésica y en una administración pulverizada en pacientes con problemas intestinales (Chung *et al.*, 2017; Yang, Wang, Prasad, Pan & Jiang, 2011). También, el consumo de la semilla en infusión disminuye las concentraciones de glucosa en la sangre, los triglicéridos y la leptina, además de su efecto sobre la necrosis tumoral (Mamun *et al.*, 2020), de igual manera el consumo del extracto inhibe el crecimiento de las células cancerosas y mejora la función hepática (Choi *et al.*, 2017).

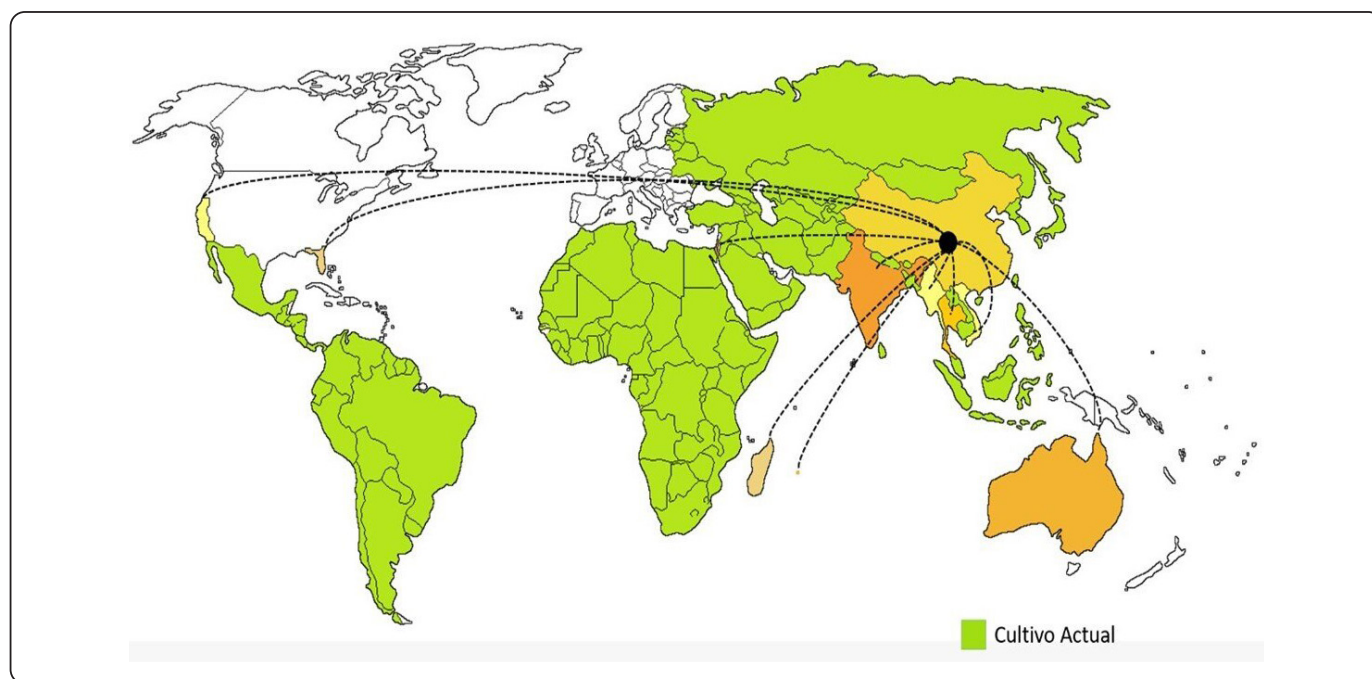


Figura 2. Distribución mundial del árbol de litchi (*Litchi chinensis*) procedente de China. Diagramación: Guillermo Castillo-Olvera

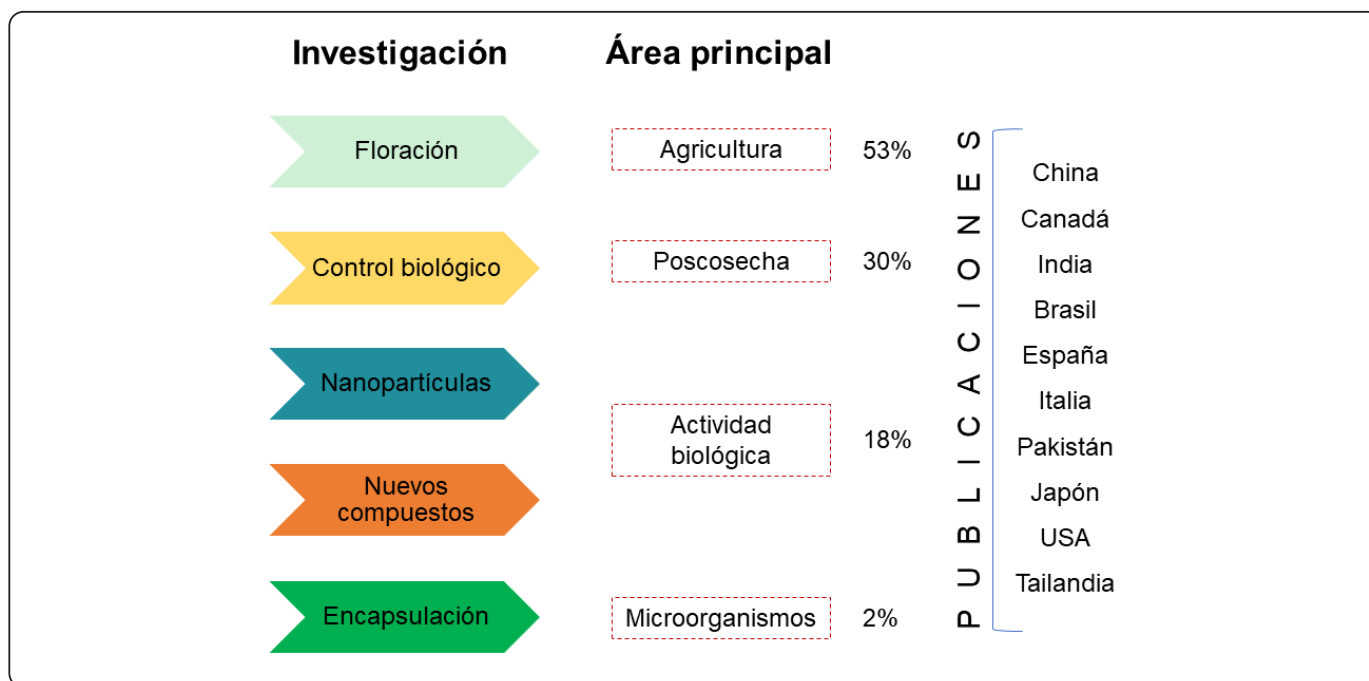


Figura 3. Investigación desarrollada sobre Litchi (*Litchi chinensis*) en los últimos diez años. Diagramación: Leidy Johana Valencia-Hernández.

La cáscara de litchi en infusión sirve para tratar las erupciones de la viruela y en la diarrea, y si se mezcla con sus hojas funciona como un antídoto contra el veneno de los insectos y en gel formando cataplasmas para las enfermedades de la piel. Las hojas son un auxiliar en el dolor de estómago, las flatulencias, en la desintoxicación, la insolación y el infarto.

En Taiwán, es una tradición el consumo de la infusión de las flores de litchi como una bebida refrescante y en China con la corteza y la raíz cocidas se hacen gárgaras para aliviar el dolor de la garganta. La fruta de litchi se ha reportado en el tratamiento de trastornos intestinales, la diabetes, la tos, la obesidad, las úlceras del estómago, es desparasitante, antifebril, y diurética (Bhoopat *et al.*, 2011; Ibrahim *et al.*, 2015). Diversos estudios señalan que el litchi posee la capacidad para tratar una variedad de enfermedades por sus compuestos bioactivos. A continuación, se describen las propiedades biológicas más relevantes y los fitoquímicos asociados.

Actividad biológica

El litchi contiene compuestos con principios bioactivos de importancia industrial, farmacéutica y química y con propiedades que ya se mencionaron. A continuación se resumen los resultados de los estudios científicos realizados a cada una de las partes del árbol (Ganjewala, 2017; Long *et al.*, 2015; Tan *et al.*, 2020).

Cáscara

La cáscara de litchi es uno de los residuos más importantes obtenidos del procesamiento de la fruta, en los últimos años

los investigadores han citado la relevancia de sus propiedades biológicas en estudios de índole medicinal. Los compuestos que contiene el extracto de la cáscara de litchi son la: epicatequina, procianidina B2, procianidina oligoméricas tipo A, quercetina-3-O-rutinoside, cianidina y malvidina (Figura 4) (Li *et al.*, 2012a) y su actividad biológica es: antioxidante, anticancerígena, antidiabética, antienvjecimiento, control de los trastornos neurodegenerativos y cardiovasculares (Li *et al.*, 2021; Gong *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018; Kilari & Putta, 2017; Zhou *et al.*, 2011). Su actividad antioxidante, se le atribuye a moléculas poliméricas de proantocianidinas, Zhou *et al.* (2011) se refieren a estos compuestos con valores de inhibición para los radicales DPPH y ABTS de 0.096 y 0.086 mg/mL, respectivamente y que su actividad antioxidante depende de la estructura química, grado de polimerización y tipo de enlace entre los monómeros de las proantocianidinas. Li *et al.* (2012a) encontraron principalmente epicatequina, procianidina A2, procianidina B2 y trímero de procianidina tipo A en 9 variedades de litchi, en donde la actividad antioxidante se correlacionó con su contenido de compuestos polifenólicos y flavonoides.

Aun con los escasos trabajos que existen sobre las propiedades biológicas de la cáscara de litchi, se ha publicado su efecto antidiabético y hepatoprotector; Kilari & Putta (2017) demostraron que el extracto acuoso retiene la progresión de la cataractogénesis y la retinopatía diabética en ratas diabéticas inducidas por estreptozotocina, con una reducción significativa en los niveles de: glucosa, superóxido dismutasa, catalasa, glutatión reducido y aldosa reductasa. Chen, Chang, Tsay

Tabla I. Estudios desarrollados en diferentes partes del árbol y su aplicación.

Tipo de estudio	Partes del árbol	Resultados en importancia	Aplicaciones	Referencias
Preservación	Pericarpio	Incremento de la capacidad antioxidante	La proantocianidina, retarda en el pericarpio el cambio a color pardo	(Bai <i>et al.</i> , 2022)
Caracterización	Pulpa	Actividad inmunomoduladora de las proantocianidinas en la pulpa de litchi	Alimento funcional para la regulación de la inmunidad de las mucosas	(Huang <i>et al.</i> , 2016)
Preservación	Fruta	El contenido de: azúcares, polisacáridos y ácidos afectó sus características organolépticas y nutricionales	Cambios fisiológicos que ayudan a optimizar su preservación	(Guo <i>et al.</i> , 2022)
Consumo	Fruta	Productos de la reacción de Maillard originados por el secado del litchi que disminuyen la respuesta inflamatoria	Base teórica sobre la respuesta inflamatoria por el consumo de litchi	(Wang <i>et al.</i> , 2022)
Maduración	Fruta	Genes identificados y asociados con la pigmentación de la fruta	La transcripción puede contribuir en los estudios de coloración y análisis funcionales	(Ding <i>et al.</i> , 2021)
Biosistemas	Fruta	El método permitió el reconocimiento de litchis verdes y rojos, así como la ubicación espacial de los frutos	Caracterización física de las frutas	(Yu <i>et al.</i> , 2021)
Control de enfermedades	Fruta	El fármaco Coumoxistrobina mostró una alta actividad contra <i>Phytophthora litchii</i> <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>	Uso del fármaco Coumoxistrobina en el control del tizón vellosa del litchi	(Zhang <i>et al.</i> , 2021a)
Prevención del oscurecimiento	Fruta	El ácido abscísico y las giberelinas aumentan y disminuyen la formación de antocianinas en el litchi, respectivamente	Uso del ácido abscísico y las giberelinas en la prevención del cambio de color a pardo en litchi, y por la acumulación de antocianinas	(Qu, Li, Wang & Zhu, 2021)
Alimentos funcionales	Jugo	El <i>Lactobacillus plantarum</i> produjo ácido aminobutírico, y presentó resistencia a las condiciones gastrointestinales <i>in vitro</i>	El uso de bacterias ácido-lácticas en la producción de alimentos funcionales a partir de litchi	(Wang <i>et al.</i> , 2021b)
Poscosecha y preservación	Fruta y pericarpio	La aplicación de la melatonina exógena favoreció a los procesos de senescencia del litchi durante el almacenamiento	El uso de la melatonina en los procesos de preservación.	(Zhang <i>et al.</i> , 2021c)
Productos innovadores	Jugo	Los altos contenidos de proteína, fibra y actividad antioxidante se obtuvieron de la formulación de un producto con base en <i>Pleurotus eryngii</i> y jugo de litchi	Formulación de nuevos productos a partir de los residuos de las frutas con alto contenido en fibra	(Chang <i>et al.</i> , 2021)
Expresión de genes	Tejidos y órganos	Los genes de la sacarosa sintasa se cuantificaron en flores, hojas, tallos, raíces, pericarpios, semillas y arilos de litchi	Avances del metabolismo de la sacarosa en el litchi	(Wang <i>et al.</i> , 2021a)
Biosíntesis de antocianinas	Árbol, racimo y pericarpio	El factor luz está relacionado con la biosíntesis de las antocianinas y su acumulación	Futuros estudios sobre el efecto de la luz en la producción de las antocianinas	(Ma <i>et al.</i> , 2021)

Tabla I. Estudios desarrollados en diferentes partes del árbol y su aplicación (continuación).

Tipo de estudio	Partes del árbol	Resultados en importancia	Aplicaciones	Referencias
Biopolímeros	Cáscara	Película antioxidante de goma guar/ carboximetilcelulosa y extracto de cáscara de litchi para utilizarlas en los productos sensibles al oxígeno	Potencial de la cáscara de litchi en la producción de biopelículas	(Deshmukh, Akhila, Ramakanth & Gaikwad, 2022)
Poscosecha y control de las enfermedades	Fruta	El benzotiadiazol inhibió el crecimiento de <i>Peronophythora litchi</i> , esta actividad se relaciona con la senescencia del fruto	El uso del benzotiadiazol en el control del tizón veloso de la fruta del litchi	(Xu <i>et al.</i> , 2021)
Interacción planta-hongo-bacteria	Planta	La interacción planta-hongo-bacteria mejoró el proceso de micorrización fúngica	El uso de rizobacterias y hongos micorrízicos arbusculares para disminuir la mortalidad de plantas jóvenes de litchi	(Visen, Singh, Chakraborty, Singh & Bisht, 2021)
Prevención y oscurecimiento	Pericarpio	El ácido α -lipoico retrasó el cambio de color a pardo en el pericarpio y prolongó la vida útil del litchi	La aplicación del ácido α -lipoico en los frutos de litchi es útil para conserva y mantiene su actividad antioxidante	(He <i>et al.</i> , 2021)
Crecimiento radicular	Planta	La tasa de crecimiento de las raíces se incrementó durante la inducción floral, pero el contenido en almidón y sacarosa en estas raíces disminuyó	El tratamiento de anillado durante la inducción de los procesos en la floración es una opción para la acumulación de los carbohidratos en los brotes y las hojas	(Liu <i>et al.</i> , 2022)
Biosíntesis de antocianinas	Pericarpio	En ensayos de clonación con hojas de tabaco, se encontró que el contenido de las antocianinas es regulado por la sobreexpresión del gen <i>LcMYBx</i>	Avances sobre el mecanismo de síntesis de las antocianinas usando el gen <i>LcMYBx</i>	(Zhao <i>et al.</i> , 2022)
Oscurecimiento	Fruta y semilla	El color pardo del fruto está relacionado con la pérdida de agua, circunstancia que favorece el vigor de la semilla	Alternativa para adaptar las semillas recalcitrantes en ambientes secos	(Liu <i>et al.</i> , 2021)
Actividad antioxidante	Cáscara	Litchi fuente de procianidinas tipo A	Productos con actividad antioxidante	(Li <i>et al.</i> , 2012b)
Actividad anti-neuroinflamatoria	Semilla	Compuestos bioactivos como los jasmonatos con actividad antiinflamatoria	Enfermedades neurodegenerativas	(Zhang <i>et al.</i> , 2021b)
Actividad antihipertensiva	Semilla	La semilla redujo la presión arterial y el daño renal	Bio-producto con propiedades biológicas	(Man <i>et al.</i> , 2021)
Actividad anticancerígena	Semilla	El extracto de las semillas inhiben el crecimiento celular del cáncer de pulmón	Tratamiento en cáncer de pulmón	(Chung <i>et al.</i> , 2017a)
Neuroprotector, antidiabético	Semilla	El extracto de las semillas previenen el daño neuronal e incrementan los niveles de glucosa en las ratas	Tratamiento contra la diabetes	(Tang <i>et al.</i> , 2018)
Actividad anticancerígena	Semilla	Los extractos de las semillas inducen a la apoptosis celular	Tratamiento contra el cáncer de próstata	(Guo <i>et al.</i> , 2017)
Actividad hipolipidémica	Pulpa	El quercetín de la pulpa tiene un efecto hipolipidémico	Nuevo mecanismo hipolipidémico	(Su <i>et al.</i> , 2017)

Tabla I. Estudios desarrollados en diferentes partes del árbol y su aplicación (*continuación*).

Tipo de estudio	Partes del árbol	Resultados en importancia	Aplicaciones	Referencias
Actividad antiinflamatoria	Semilla	La proteína aislada de la semilla presentó una actividad antioxidante y antiinflamatoria	Los péptidos con potencial para la industria alimentaria y la farmacéutica	(Saisavoey, Sangtanoo, Reamtong & Karnchanat, 2018)
Aterosclerosis	Cáscara	Las procianidinas extraídas de la cáscara presentaron una actividad antioxidante y disminuyeron los efectos de la aterosclerosis en ratas	En los tratamientos de las enfermedades degenerativas	(Rong <i>et al.</i> , 2017)
Inhibición enzimática	Semilla	La lipasa una proteína aislada de las semillas del litchi tiene una actividad inhibitoria pancreática	En tratamientos contra la obesidad	(Mhatre <i>et al.</i> , 2019))
Efecto neurodegenerativo	Semilla	Las saponinas de las semillas inhiben a la apoptosis de las células PC12	Suplemento alimentario	(Wang <i>et al.</i> , 2017)

& Weng (2017a) se refieren al efecto hepatoprotector de los extractos de litchi frente a las células hepáticas embrionarias de los ratones tratados con el tetracloruro de carbono (CCl₄). Adicionalmente, se encontró una actividad regenerativa de las células hepáticas, atribuida a la epicatequina y a la procianidina A2, en los ensayos de cicatrización de las heridas, por raspado y lesiones. Algunas investigaciones indican la importancia de las procianidinas en los tratamientos contra la diabetes y los trastornos cardiovasculares. Li *et al.* (2018) citan a las procianidinas oligoméricas con efecto contra la diabetes y una mejoría en: el metabolismo de los lípidos, el nivel de la insulina, la homeostasis de la glucosa y la disminución del estrés oxidativo producido por la hiperglucemia en el suero. Zhou *et al.* (2011), mencionan que las procianidinas oligoméricas tipo A pueden utilizarse en el tratamiento de la hiperuricemia con un efecto protector contra las enfermedades cardiovasculares, esto porque *in vivo* en una rata con isquemia miocárdica aguda y una relación de dosis-efecto, se obtuvo una capacidad antioxidante sérica y miocárdica (Chen *et al.*, 2017b).

Pulpa

La pulpa del litchi contiene polisacáridos, polifenoles, vitaminas, lípidos y minerales, con beneficios para la salud humana, especialmente para el hígado, cerebro y corazón (Zhao, Wang, Wang, Zhu & Hu, 2020). Las actividades biológicas de la pulpa de litchi han sido atribuidas a su contenido de: polifenoles, flavonoides, antocianinas y proantocianidinas, en este último grupo se incluyen las procianidinas diméricas y triméricas. Distintos autores citados a continuación corroboran la propiedad antioxidante, en la pulpa, presente en varios compuestos según Lv *et al.* (2015), en un contenido total de polifenoles y flavonoides de 32 cultivares de litchi, encontraron epicatequina, procianidina B2 y procianidina C1, una alta actividad antioxidante atribuida

a 6 procianidinas individuales, y a los polisacáridos; Huang *et al.*, 2015 descubrieron propiedades fisicoquímicas, actividad antioxidante y antiproliferativa en 6 fracciones de polisacáridos, cuyo contenido es la galactosa y la manosa que le confieren a la pulpa una mayor actividad antioxidante y un efecto inhibitorio sobre la proliferación de las líneas celulares en el cáncer de hígado y en el carcinoma gástrico humano. En el estudio de otras bioactividades, el tipo de extracción es determinante para la obtención de resultados satisfactorios. Su *et al.* (2014) mediante la extracción por solventes orgánicos (agua, etanol, acetona acuosa, metanol acuoso y acetato de etilo), resultó ser la acetona acuosa (80 %) con mayor contenido de polifenoles y mayor actividad antioxidante estimado por los métodos de captación de radicales libres de oxígeno (ORAC) y actividad antioxidante celular (CAA) con un valor correspondiente a 852 mg equivalentes de trolox (ET)/100 g peso fresco (PF) y 16.9 mg equivalentes de quercetina (EQ)/100 g PF, respectivamente; seguido por el extracto de metanol acuoso (80%) con valores correspondientes a 743 mg ET/100 g PF y 16.6 mg EQ/100 g PF para los ensayos de ORAC y CAA, respectivamente. En años recientes, las investigaciones se han enfocado a los problemas en la salud humana por los altos índices de mortalidad a nivel mundial, a causa de la obesidad y la diabetes, es conocido que la cáscara de litchi representa un potencial de uso como suplemento dietario, sin embargo, hay autores que han experimentado con la pulpa de litchi y su efecto en los tejidos adiposos y los hepáticos de las ratas Wistar relacionados con el desarrollo del hígado graso y el desarrollo de la obesidad. Los animales fueron tratados con pulpa de litchi administrada por vía oral en un 40% p/v durante 5 semanas, los resultados obtenidos demostraron que los triglicéridos y el colesterol fueron significativamente más bajos que en el grupo control (sin administración de la pulpa). En este estudio

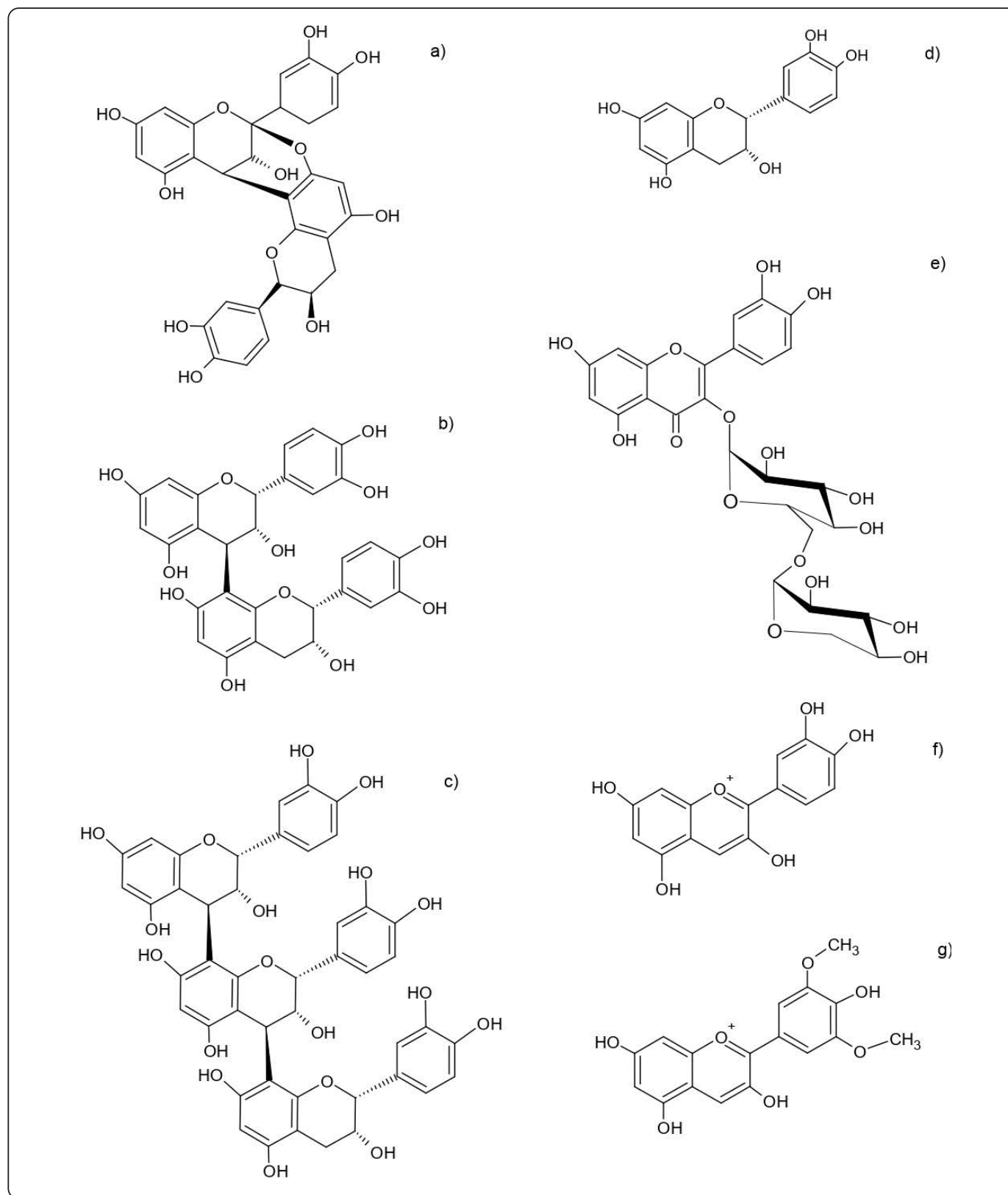


Figura 4. Principales compuestos bioactivos identificados en el litchi (*Litchi chinensis*), a) procianidina A2, b) procianidina B2, c) procianidina C1, d) (-) epicatequina, e) quercetina-3-O-rutinoside, f) cianidina y g) malvidina. Diagramación: Guillermo Castillo-Olvera.

se revela que la pulpa de litchi afectó la dinámica celular del tejido adiposo, disminuyendo la hipertrofia de los adipocitos y contrarrestando la acumulación de grasa en el tejido hepático de las ratas (Alexander *et al.*, 2019).

Semilla

La semilla de litchi se considera una alternativa potencial en el tratamiento de las infecciones microbianas, las patologías hepáticas, las enfermedades inflamatorias y las neurodegenerativas (Alzheimer). Varios estudios destacan su capacidad antioxidante, antimicrobiana, anticancerígena, antidiabética, antiinflamatoria e hipolipidémica (Man *et al.*, 2017; Tang *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2021b). Chukwuma *et al.* (2021) señalan que los compuestos del tipo-flavano-3ols, los sesquiterpenos, los ácidos fenólicos, los jasmonatos y los flavonoides glicosilados podrían modular las vías de señalización y expresión de los genes relacionados a la reducción de las enfermedades. Las investigaciones están orientadas al estudio de la capacidad anticancerígena de los extractos de las semillas de litchi (Chung *et al.*, 2017a; Guo *et al.*, 2017). Los extractos acuosos de la semilla mostraron actividad anticancerígena frente a las células cancerosas de mama y las células mamarias normales en una cinética de tiempo de 24, 48 y 72 h en distintas concentraciones del extracto de litchi (0.05, 0.1, 0.2 y 0.4 mg/mL). Los autores indican que las concentraciones de 0.05 y 0.1 mg/mL mejoraron la proliferación de las células epiteliales de mama no malignas (MCF10A), sin embargo, esta proliferación fue suprimida por concentraciones de extractos de 0.2 y 0.4 mg/mL, así como las células cancerígenas fueron inhibidas. A partir de este hallazgo Ma *et al.*, (2020) dedujeron que el efecto inhibitorio de los extractos de litchi, sobre las células cancerosas, depende de las siguientes variables de ensayo: concentración y tiempo. Otro estudio determinó que el extracto de la semilla de litchi puede inhibir el crecimiento celular y suprimir el factor relacionado con el desarrollo epidérmico del cáncer de pulmón (Chung *et al.*, 2017a). Las investigaciones dirigen su interés en lograr la disminución del cáncer de próstata, por ser el más frecuente entre la población masculina, Guo *et al.* (2017) citan que los extractos de la semilla de litchi obtenidos con disolvente n-butílico induce a la apoptosis celular e inhibe el ciclo celular de las líneas celulares del cáncer de próstata. También se ha visto que los compuestos bioactivos de la semilla de litchi extraídos con etanol al 50 % tienen actividad antitirocinasa (Nagendra *et al.*, 2009) y los polisacáridos obtenidos por ultrasonido con propiedades antioxidantes (Chen, Yeyuan, Luo, Gao & Zhu, 2011). Mhatre, Bhagit & Yadav (2019), aislaron una proteína de la semilla de litchi con capacidad de inhibir a la enzima lipasa. Otros aportes revelan el efecto hipoglucémico de las semillas de litchi, como en los ensayos realizados en ratas con diabetes tipo 2, en donde se observa que el extracto hizo decrecer el índice de resistencia a la insulina y a la glucosa en la orina. Estos resultados indican que el extracto de la semilla de litchi regula la homeostasis de la glucosa y los ácidos grasos, y reparan el

deterioro de la señalización de la insulina en el hígado (Man *et al.*, 2017). Actualmente, el interés en esta área de trabajo se incrementó por su contribución en el avance del tratamiento de las enfermedades con una alta tasa de mortalidad en los humanos, así lo reporta Chukwuma *et al.* (2021) con evidencias de los beneficios medicinales del uso de la semilla de litchi.

Flor y hoja

Los compuestos bioactivos que se encuentran en el extracto de la flor de litchi disponen de un efecto sobre la inhibición de los radicales libres del DPPH y en la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad. Diferentes estudios, en el caso por ejemplo de Yang *et al.* (2012) enuncian que el extracto de litchi obtenido en acetato de etilo mostró una alta capacidad antioxidante y para la eliminación de los radicales del DPPH a una concentración de 0.016 µg de muestra/mL, adicionalmente con la capacidad de oxidar a las lipoproteínas de baja densidad. En un estudio de Chang *et al.* (2013) realizado en ratones con dietas altas en grasa, los extractos de la flor de litchi tuvieron un efecto antiinflamatorio y en los análisis histopatológicos una recuperación del daño hepático. Por otro lado, la hoja de litchi ha sido descrita como una fuente de importantes compuestos bioactivos: la epicatequina, la procianidina A2 y la procianidina B2 para el tratamiento de las flatulencias, de la desintoxicación, de un golpe de calor y en las enfermedades del hígado (Thiesen *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2017b). Wen *et al.* (2015) expresan que la hoja de litchi con su capacidad antioxidante, anticancerígena y antiproliferativa, actúa contra las líneas celulares del hematoma humano HepG2 y son capaces de inhibir su ciclo celular.

Aplicación industrial

Los usos etnomedicinales y los estudios de exploración de las actividades biológicas que presenta el litchi son utilizados por la industria para el desarrollo de nuevos productos y en la conversión de los residuos a compuestos de valor agregado como una alternativa natural rentable para la industria.

La semilla de litchi contiene polisacáridos como almidón de importancia para la industria alimentaria, usado como espesante, emulsionante y agente emulsificante, y en la elaboración de dulces y vinos. Por otro lado, su contenido de ácidos grasos es requerido en la industria cosmética y el cuidado personal, ya que por sus propiedades antioxidantes previenen la degradación del colágeno, la elastina y el ácido hialurónico. Se producen detergentes por medio de la saponificación, tintas y lubricantes (Lv *et al.*, 2014; Upadhyaya & Upadhyaya, 2017). Otros autores como Tian *et al.* (2020) utilizaron la pulpa de litchi con gelificantes híbridos de cera de abejas, k-carragenina y goma xantana en la fabricación de una tinta gelificadora híbrida para la impresión en 3D, con esta aplicación la microestructura impresa obtuvo una alta precisión que soporta un ángulo de inclinación de 53.5 ° y una altura de 85 capas, por lo que este sistema de gelificación híbrido

tiene importancia al mejorar la estabilidad, la precisión y la formación de los productos impresos. Según estos resultados, el jugo de litchi puede abordar el mercado global de tintas para impresiones 3D.

En cuanto a la cáscara de litchi se obtienen colorantes, champús, acondicionadores y este último se produce al combinar las vitaminas E y C para prevenir el daño en el cabello por acumulación de partículas (Rocafort, 2017), también se ha llevado a cabo la obtención de quercetina, kaempferol y derivados glucosídicos por *Aspergillus awamori* (Lin *et al.*, 2014). Por otro lado, la industria alimentaria se ha interesado en la producción de alimentos funcionales a partir de la fruta de litchi como encurtidos, conservas, jugos, yogurt y vino. También se han fabricado bebidas fermentadas a partir del jugo de litchi fortalecidas con probióticos *Lactobacillus casei* 01 e inulina, *Lactobacillus plantarum*, fructooligosacárido y pectina, con la garantía de tener calidad sensorial, seguridad microbiana y nutricional, otra formulación es la mezcla del jugo de litchi con *Aloe vera* (Kalita, Saikia, Gautam, Mukhopadhyay & Mahanta, 2018; Kingwatee *et al.*, 2015; Swami Hulle, Chakraborty & Rao, 2017; Zheng *et al.*, 2014).

La industria cosmética ha desarrollado un suero de litchi para el tratamiento que contraresta: el oscurecimiento de la piel, el envejecimiento, la pérdida de elasticidad y la reducción de arrugas en la piel (Lourith & Kanlayavattanukul, 2020). Además, las hojas de litchi han contribuido con sus propiedades al desarrollo de fitocosméticos y fotoprotectores por su alto contenido de epicatequina y procianidinas A2, que tienen un efecto fotoquímico-protector frente a los rayos UVA / UVB y de fotoprotección frente a *Propionibacterium acnes* (Thiesen *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

El litchi (*Litchi chinensis*) se consume en diferentes partes del mundo por su alto contenido nutricional, además de ser jugoso y el sabor de su arilo refrescante. Es también utilizado en la medicina tradicional y demostrado que contiene una gran variedad de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, anticancerígena, antiobesidad, hepatoprotectora, cardioprotectora y antiinflamatoria.

El contenido de compuestos bioactivos y sus propiedades biológicas hacen del árbol de litchi valioso para el desarrollo de alimentos con valor agregado, medicamentos y cosméticos. Sin embargo, para satisfacer las necesidades tecnológicas y la fabricación de nuevos productos de interés para la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria es necesario ampliar las investigaciones a nivel de la biodisponibilidad, mecanismo de acción y metabolismo en los humanos.

AGRADECIMIENTOS

Guillermo Castillo Olvera agradece el apoyo de CONACYT

por la beca (No. 783603) para realizar los estudios de maestría.

REFERENCIAS

- Alexander-Aguilera, A., Aguirre-Maldonado, I., Antolín, J. R., Toledo, L. N., Rodríguez, I. S. & Sánchez Otero, M. G. (2019). Effect of *Litchi chinensis* on adipose and hepatic tissues in rats with obesity and non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, **18**(3), 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.06.002>
- Bai, X. yu, Yang, Z. meng, Shen, W. jun, Shao, Y. zhi, Zeng, J. ke & Li, W. (2022). Polyphenol treatment delays the browning of litchi pericarps and promotes the total antioxidant capacity of litchi fruit. *Scientia Horticulturae*, **291**(110563), 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110563>
- Bhalla-Sarin, N., Prasad, U. S., Kantharajah, A. S. & Jain, S.M. (2003). Micropropagation of Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). In: Jain, S.M., Ishii, K. (eds). Micropropagation of Woody Trees and Fruits. *Forestry Sciences*, **75**, 721-731, Springer, Dordrecht. USA. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0125-0_24.
- Bhoopat, L., Srichairatanakool, S., Kanjanapothi, D., Taesotikul, T., Thananchai, H. & Bhoopat, T. (2011). Hepatoprotective effects of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.): A combination of antioxidant and anti-apoptotic activities. *Journal of Ethnopharmacology*, **136**(1), 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.061>
- Chang, Y. Y., Yang, D. J., Chiu, C. H., Lin, Y. L., Chen, J. W. & Chen, Y. C. (2013). Antioxidative and anti-inflammatory effects of polyphenol-rich litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)-flower-water-extract on livers of high-fat-diet fed hamsters. *Journal of Functional Foods*, **5**(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.08.002>.
- Chang, J. W., Chen, P. A. & Chen, I. Z. (2017). Litchi breeding and plant management in Taiwan. In *The Lychee Biotechnology* (pp. 31–58). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6_2
- Chang, X., Yang, A., Bao, X., He, Z., Zhou, K., Dong, Q. & Luo, W. (2021). An innovative structured fruit (SF) product made from litchi juice, king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) and gellan gum: Nutritional, textural, sensorial properties. *LWT*, **152**(112344), 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112344>
- Chen, L. G., Chang, C. W., Tsay, J. G. & Weng, B. B. C. (2017a). Hepatoprotective effects of litchi (*Litchi chinensis*) procyanidin A2 on carbon tetrachloride-induced liver injury in ICR mice. *Experimental and Therapeutic Medicine*, **13**(6), 2839–2847. <https://doi.org/10.3892/etm.2017.4358>
- Chen, Y, Li, H., Zhang, S., Yang, C., Mai, Z., Hu, X., Gao, Z. & Deng, H. (2017). Anti-myocardial Ischemia Effect and Components of Litchi Pericarp Extracts. *Phytotherapy Research*, **31**(9), 1384–1391. <https://doi.org/10.1002/ptr.5865>

- Chen, Y., Luo, H., Gao, A. & Zhu, M. (2011). Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seed by response surface methodology and their structural characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **12**(3), 305–309. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.03.003>
- Choi, S. A., Lee, J. E., Kyung, M. J., Youn, J. H., Oh, J. Bin & Whang, W. K. (2017). Anti-diabetic functional food with wasted litchi seed and standard of quality control. *Applied Biological Chemistry*, **60**(2), 197–204. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0269-9>
- Chukwuma, C. I., Izu, G. O., Chukwuma, M. S., Samson, M. S., Makhafofa, T. J. & Erukainure, O. L. (2021). A review on the medicinal potential, toxicology, and phytochemistry of litchi fruit peel and seed. *Journal of Food Biochemistry*, **45**(12), 1–20. <https://doi.org/10.1111/JFBC.13997>
- Chung, Y. C., Chen, C. H., Tsai, Y. T., Lin, C. C., Chou, J. C., Kao, T. Y., Huang, C. C., Cheng, C. H. & Hsu, C. P. (2017). Litchi seed extract inhibits epidermal growth factor receptor signaling and growth of Two Non-small cell lung carcinoma cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **17**(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1541-y>
- Deshmukh, R. K., Akhila, K., Ramakanth, D. & Gaikwad, K. K. (2022). Guar gum/carboxymethyl cellulose based antioxidant film incorporated with halloysite nanotubes and litchi shell waste extract for active packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, **201**, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.12.198>
- Ding, F., Li, H., Zhang, S., Wang, J., Peng, H., Chen, H., Hu, F., Lai, B., Ma, W., Li, J., Zhao, M. & He, X. (2021). Comparative transcriptome analysis to identify fruit coloration-related genes of late-ripening litchi mutants and their wild type. *Scientia Horticulturae*, **288**(110369), 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110369>
- Emanuele, S., Lauricella, M., Calvaruso, G., D'Anneo, A. & Giuliano, M. (2017). *Litchi chinensis* as a functional food and a source of antitumor compounds: An overview and a description of biochemical pathways. In *Nutrients* (Vol. 9, Issue 9, p. 992). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu9090992>
- Ganjewala, D. (2017). Secondary metabolite credentials and biological properties of *Litchi chinensis*. In *The Lychee Biotechnology* (pp. 213–242). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6_7
- Gong, Y., Fang, F., Zhang, X., Liu, B., Luo, H., Li, Z., Zhang, X., Zhang, Z. & Pang, X. (2018). B type and complex A/B type epicatechin trimers isolated from litchi pericarp aqueous extract show high antioxidant and anticancer activity. *International Journal of Molecular Sciences*, **19**(1), 301. <https://doi.org/10.3390/ijms19010301>
- Guo, H., Luo, H., Yuan, H., Xia, Y., Shu, P., Huang, X., Lu, Y., Liu, X., Keller, E. T., Sun, D., Deng, J. & Zhang, J. (2017). Litchi seed extracts diminish prostate cancer progression via induction of apoptosis and attenuation of EMT through Akt/GSK-3 β signaling. *Scientific Reports*, **7**(41656), 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep41656>
- Guo, X., Luo, T., Han, D., Zhu, D., Li, Z., Wu, Z. & Wu, Z. (2022). Multi-omics analysis revealed room temperature storage affected the quality of litchi by altering carbohydrate metabolism. *Scientia Horticulturae*, **293**(110663), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110663>
- He, M., Wu, Y., Hong, M., Yun, Z., Li, T. & Jiang, Y. (2021). α -Lipoic acid treatment alleviates postharvest pericarp browning of litchi fruit by regulating antioxidant ability and energy metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, **180**(111629), 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111629>
- Huang, F., Zhang, R., Dong, L., Guo, J., Deng, Y., Yi, Y. & Zhang, M. (2015). Antioxidant and antiproliferative activities of polysaccharide fractions from litchi pulp. *Food and Function*, **6**(8), 2598–2606. <https://doi.org/10.1039/c5fo00249d>
- Huang, F., Zhang, R., Liu, Y., Xiao, J., Su, D., Yi, Y., Wang, G., Wei, Z. & Zhang, M. (2016). Characterization and mesenteric lymph node cells-mediated immunomodulatory activity of litchi pulp polysaccharide fractions. *Carbohydrate Polymers*, **152**, 496–503. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.07.014>
- Ibrahim, S. R. M. & Mohamed, G. A. (2015). *Litchi chinensis*: Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology. In *Journal of Ethnopharmacology* (Vol. 174, pp. 492–513). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.08.054>
- Kalita, D., Saikia, S., Gautam, G., Mukhopadhyay, R. & Mahanta, C. L. (2018). Characteristics of synbiotic spray dried powder of litchi juice with *Lactobacillus plantarum* and different carrier materials. *LWT - Food Science and Technology*, **87**, 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.092>
- Kilari, E. K. & Putta, S. (2017). Delayed progression of diabetic cataractogenesis and retinopathy by *Litchi chinensis* in STZ-induced diabetic rats. *Cutaneous and Ocular Toxicology*, **36**(1), 52–59. <https://doi.org/10.3109/15569527.2016.1144610>
- Kingwatee, N., Apichartsrangkoon, A., Chaikham, P., Worametrachanon, S., Techarung, J. & Pankasemsuk, T. (2015). Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT - Food Science and Technology*, **62**(1), 847–853. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.007>
- Koul, B. & Singh, J. (2017). Lychee biology and biotechnology. In *The Lychee Biotechnology* (pp. 137–192). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6_5
- Li, S., Xiao, J., Chen, L., Hu, C., Chen, P., Xie, B. & Sun, Z. (2012a). Identification of A-series oligomeric procyanidins from pericarp of *Litchi chinensis* by FT-ICR-MS and LC-MS. *Food Chemistry*, **135**, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.039>

- Li, W., Liang, H., Zhang, M. W., Zhang, R. F., Deng, Y. Y., Wei, Z. C., Zhang, Y. & Tang, X. J. (2012). Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp from different commercially available cultivars. *Molecules*, **17**(12), 14954–14967. <https://doi.org/10.3390/molecules171214954>
- Li, X., Wu, Q., Sui, Y., Li, S., Xie, B. & Sun, Z. (2018). Dietary supplementation of A-type procyanidins from litchi pericarp improves glucose homeostasis by modulating mTOR signaling and oxidative stress in diabetic ICR mice. *Journal of Functional Foods*, **44**, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.024>
- Lin, S., Zhu, Q., Wen, L., Yang, B., Jiang, G., Gao, H., Chen, F. & Jiang, Y. (2014). Production of quercetin, kaempferol and their glycosidic derivatives from the aqueous-organic extracted residue of litchi pericarp with *Aspergillus awamori*. *Food Chemistry*, **145**, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.048>
- Liu, B., Xue, W. wen, Guo, Z. li, Liu, S. yu, Zhu, Q. nan, Pang, X. qun, Zhang, Z. qi & Fang, F. (2021). Water loss and pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis*) and longan (*Dimocarpus longan*) fruit maintain seed vigor. *Scientia Horticulturae*, **290**(110519), 1-7. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110519>
- Liu, P., Huang, J., Cai, Z., Chen, H., Huang, X., Yang, S., Su, Z., Azam, M., Chen, H. & Shen, J. (2022). Influence of girdling on growth of litchi (*Litchi chinensis*) roots during cold-dependent floral induction. *Scientia Horticulturae*, **297**(110928), 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2022.110928>
- Long, Y., Cheng, J., Mei, Z., Zhao, L., Wei, C., Fu, S., Khan, M. A. & Fu, J. (2015). Genetic analysis of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) in southern China by improved random amplified polymorphic DNA (RAPD) and inter-simple sequence repeat (ISSR). *Molecular Biology Reports*, **42**(1), 159–166. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3755-8>
- Lourith N. & Kanlayavattanakul, M. (2020). Formulation and clinical evaluation of the standardized *Litchi chinensis* extract for skin hyperpigmentation and aging treatments. *Annales Pharmaceutiques Francaises*, **78**(2), 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.pharma.2020.01.004>
- Lv, Q., Luo, F., Zhao, X., Liu, Y., Hu, G., Sun, C., Li, X. & Chen, K. (2015). Identification of proanthocyanidins from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pulp by LC-ESI-Q-TOF-MS and their antioxidant activity. *PLoS ONE*, **10**(3), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120480>
- Lv, Q., Si, M., Yan, Y., Luo, F., Hu, G., Wu, H., Sun, C., Li, X. & Chen, K. (2014). Effects of phenolic-rich litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pulp extracts on glucose consumption in human HepG2 cells. *Journal of Functional Foods*, **7**(1), 621–629. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.12.023>
- Ma, A., Wang, D., Lu, H., Wang, H., Qin, Y., Hu, G. & Zhao, J. (2021). LcCOP1 and LcHY5 control the suppression and induction of anthocyanin accumulation in bagging and debagging litchi fruit pericarp. *Scientia Horticulturae*, **287**(110281), 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110281>
- Ma, Y., Yan, F., Wei, W., Deng, J., Li, L., Liu, L. & Sun, J. (2020). Litchi Seed Aqueous Extracts play a role in suppression of epithelial-mesenchymal transition, invasion and migration in breast cancer cells. *Cell Cycle*, **19**(3), 317–325. <https://doi.org/10.1080/15384101.2019.1710912>
- Mamun, F., Rahman, M. M., Zamila, M., Subhan, N., Hossain, H., Raquibul Hasan, S. M., Alam, M. A. & Haque, M. A. (2020). Polyphenolic compounds of litchi leaf augment kidney and heart functions in 2K1C rats. *Journal of Functional Foods*, **64**(103662), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103662>
- Man, S., Ma, J., Yao, J., Cui, J., Wang, C., Li, Y., Ma, L. & Lu, F. (2017). Systemic Perturbations of Key Metabolites in Type 2 Diabetic Rats Treated by Polyphenol Extracts from Litchi chinensis Seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **65**(35), 7698–7704. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02206>
- Man, S., Ye, S., Ma, L., Yao, Y., Liu, T. & Yin, L. (2021). Polyphenol-rich extract from *Litchi chinensis* seeds alleviates hypertension-induced renal damage in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **69**(7), 2138–2148. https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.0C07046/SUPPL_FILE/JF0C07046_SI_001.PDF
- Mhatre, S. V., Bhagit, A. A. & Yadav, R. P. (2019). Proteinaceous pancreatic lipase inhibitor from the seed of *Litchi chinensis*. *Food Technology and Biotechnology*, **57**(1), 113–118. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.01.19.5909>
- Miranda-Hernández, A. M., Muñoz-Márquez, D. B., Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., de la Rosa-Hernández, M., Larios-Cruz, R. & Aguilar, C. N. (2019). Characterization by HPLC–ESI–MS 2 of native and oxidized procyanidins from litchi (*Litchi chinensis*) pericarp. *Food Chemistry*, **291**, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.020>
- Muthusamy, A., Swathy, P. S. & Kiran, K. R. (2017). Biotechnological Interventions in Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) for the Improvement of Fruit Quality and Postharvest Storage. In *The Lychee Biotechnology* (pp. 101–136). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6_4
- Nagendra Prasad, K., Yang, B., Yang, S., Chen, Y., Zhao, M., Ashraf, M. & Jiang, Y. (2009). Identification of phenolic compounds and appraisal of antioxidant and antityrosinase activities from litchi (*Litchi sinensis* Sonn.) seeds. *Food Chemistry*, **116**(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.079>
- Qu, S., Li, M., Wang, G. & Zhu, S. (2021). Application of ABA and GA3 alleviated browning of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) via different strategies. *Postharvest Biology and Technology*, **181**(111672), 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111672>
- Rocafort, C. M. (2017). Functional materials for hair. In

- Cosmetic Science and Technology: Theoretical Principles and Applications* (pp. 321–335). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802005-0.00021-5>
- Rong, S., Hu, X., Zhao, S., Zhao, Y., Xiao, X., Bao, W. & Liu, L. (2017). Procyanidins extracted from the litchi pericarp ameliorate atherosclerosis in ApoE knockout mice: their effects on nitric oxide bioavailability and oxidative stress. *Food & Function*, **8**(11), 4210–4216. <https://doi.org/10.1039/C7FO00747G>
- Saisavoey, T., Sangtanoo, P., Reamtong, O. & Karnchanat, A. (2018). Anti-Inflammatory Effects of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Seed Peptide Hydrolysate on RAW 264.7. *Macrophage Cells*, **32**(2), 79–94. <https://doi.org/10.1080/08905436.2018.1443821>
- SIAP. (2018). *Litchi*. 2018.
- Soni, R. & Agrawal, S. (2017). *Litchi chinensis*: Taxonomy, botany and its cultivars. In *Lychee Disease Management* (pp. 191–215). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4247-8_12
- Su, D., Zhang, R., Hou, F., Chi, J., Huang, F., Yan, S., Liu, L., Deng, Y., Wei, Z. & Zhang, M. (2017). Lychee pulp phenolics ameliorate hepatic lipid accumulation by reducing miR-33 and miR-122 expression in mice fed a high-fat diet. *Food & Function*, **8**(2), 808–815. <https://doi.org/10.1039/C6FO01507G>
- Su, D., Zhang, R., Hou, F., Zhang, M., Guo, J., Huang, F., Deng, Y. & Wei, Z. (2014). Comparison of the free and bound phenolic profiles and cellular antioxidant activities of litchi pulp extracts from different solvents. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **14**(9), 1-10. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-9>
- Sung, Y. Y., Yang, W. K. & Kim, H. K. (2012). Antiplatelet, anticoagulant and fibrinolytic effects of *Litchi chinensis* Sonn. extract. *Molecular Medicine Reports*, **5**(3), 721–724. <https://doi.org/10.3892/mmr.2011.735>
- Swami Hulle, N. R., Chakraborty, S. & Rao, P. S. (2017). Effect of high pressure thermal processing on the quality attributes of *Aloe vera*-litchi mixed beverage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **40**, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.025>
- Tan, S., Tang, J., Shi, W., Wang, Z., Xiang, Y., Deng, T., Gao, X., Li, W. & Shi, S. (2020). Effects of three drying methods on polyphenol composition and antioxidant activities of *Litchi chinensis* Sonn. *Food Science and Biotechnology*, **29**(3), 351–358. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00674-w>
- Tang, Y., Yu, C., Wu, J., Chen, H., Zeng, Y., Wang, X., Yang, L., Mei, Q., Cao, S. & Qin, D. (2018). Lychee seed extract protects against neuronal injury and improves cognitive function in rats with type II diabetes mellitus with cognitive impairment. *International Journal of Molecular Medicine*, **41**(1), 251–263. <https://doi.org/10.3892/IJMM.2017.3245>
- Thiesen, L. C., Zonta, S. L., Sobral, C. R. F., Ferreira, R. A., Sant'Ana, R., Meyre-Silva, C., Santin, J. R., Cruz, A. B., Bresolin, T. M. B. & Couto, A. G. (2020). Quality Control of *Litchi chinensis* Leaf: a Potential Raw Material for Cosmetic Industry. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, **30**(1), 139–144. <https://doi.org/10.1007/s43450-020-00005-9>
- Tian, H., Wang, K., Lan, H., Wang, Y., Hu, Z. & Zhao, L. (2020). Effect of hybrid gelator systems of beeswax-carrageenan-xanthan on rheological properties and printability of litchi inks for 3D food printing. *Food Hydrocolloids*, **113**(106482), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106482>
- Upadhyaya, D. C. & Upadhyaya, C. P. (2017). Bioactive compounds and medicinal importance of *Litchi chinensis*. In *The Lychee Biotechnology* (pp. 333–361). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3644-6_13
- Visen, A., Singh, P. N., Chakraborty, B., Singh, A. & Bisht, T. S. (2021). Scanning electron microscopy indicates Pseudomonad strains facilitate AMF mycorrhization in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) air-layers and improving survivability, growth and leaf nutrient status. *Current Research in Microbial Sciences*, **2**(100063), 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.CRMICR.2021.100063>
- Wang, Dan, Zhao, J., Qin, Y., Qin, Y. & Hu, G. (2021a). Molecular cloning, characterization and expression profile of the sucrose synthase gene family in *Litchi chinensis*. *Horticultural Plant Journal*, **7**(6), 520–528. <https://doi.org/10.1016/J.HPJ.2021.04.004>
- Wang, Dongwei, Wang, Y., Lan, H., Wang, K., Zhao, L. & Hu, Z. (2021b). Enhanced production of γ -aminobutyric acid in litchi juice fermented by *Lactobacillus plantarum* HU-C2W. *Food Bioscience*, **42**(101155), 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101155>
- Wang, K., Li, W., Wang, K., Hu, Z., Xiao, H., Du, B. & Zhao, L. (2022). Structural and inflammatory characteristics of Maillard reaction products from litchi thaumatin-like protein and fructose. *Food Chemistry*, **374**(131821), 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131821>
- Wang, X., Wu, J., Yu, C., Tang, Y., Liu, J., Chen, H., Jin, B., Mei, Q., Cao, S. & Qin, D. (2017). Lychee Seed Saponins Improve Cognitive Function and Prevent Neuronal Injury via Inhibiting Neuronal Apoptosis in a Rat Model of Alzheimer's Disease. *Nutrients*, **9**(2), 1-17. <https://doi.org/10.3390/NU9020105>
- Wen, L., You, L., Yang, X., Yang, J., Chen, F., Jiang, Y. & Yang, B. (2015). Identification of phenolics in litchi and evaluation of anticancer cell proliferation activity and intracellular antioxidant activity. *Free Radical Biology and Medicine*, **84**, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.03.023>
- Xu, D., Xi, P., Lin, Z., Huang, J., Lu, S., Jiang, Z. & Qiao, F. (2021). Efficacy and potential mechanisms of benzothiadiazole inhibition on postharvest litchi downy blight. *Postharvest Biology and Technology*, **181**(111660), 1-10. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111660>
- Yang, B., Wang, H., Prasad, N., Pan, Y. & Jiang, Y. (2011). Use of Litchi (*Litchi sinensis* Sonn.) Seeds in Health. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp.

- 699–703). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10082-9>
- Yang, D. J., Chang, Y. Z., Chen, Y. C., Liu, S. C., Hsu, C. H. & Lin, J. T. (2012). Antioxidant effect and active components of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) flower. *Food and Chemical Toxicology*, **50**(9), 3056–3061. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.06.011>
- Yu, L., Xiong, J., Fang, X., Yang, Z., Chen, Y., Lin, X. & Chen, S. (2021). A litchi fruit recognition method in a natural environment using RGB-D images. *Biosystems Engineering*, **204**, 50–63. <https://doi.org/10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2021.01.015>
- Zhang, J., Zhu, F., Gu, M., Ye, H., Gu, L., Zhan, L., Liu, C., Yan, C. & Feng, G. (2021a). Inhibitory activity and action mechanism of coumoxystrobin against *Phytophthora litchii*, which causes litchi fruit downy blight. *Postharvest Biology and Technology*, **181**(111675), 1–6. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111675>
- Zhang, X., Wang, Y., Qin, Q., Wang, Y., Xu, J. & He, X. (2021b). Pronounced anti-neuroinflammatory jasmonates and terpenes isolated from lychee seeds. *Fitoterapia*, **152**(104924), 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.FITOTE.2021.104924>
- Zhang, Z., Liu, J., Huber, D. J., Qu, H., Yun, Z., Li, T. & Jiang, Y. (2021c). Transcriptome, degradome and physiological analysis provide new insights into the mechanism of inhibition of litchi fruit senescence by melatonin. *Plant Science*, **308**(110926), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2021.110926>
- Zhao, J., Chen, L., Ma, A., Wang, D., Lu, H., Chen, L., Wang, H., Qin, Y. & Hu, G. (2022). R3-MYB transcription factor LcMYBx from *Litchi chinensis* negatively regulates anthocyanin biosynthesis by ectopic expression in tobacco. *Gene*, **812**(146105), 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.GENE.2021.146105>
- Zhao, L., Wang, K., Wang, K., Zhu, J. & Hu, Z. (2020). Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **19**(4), 2139–2163. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12590>
- Zheng, X., Yu, Y., Xiao, G., Xu, Y., Wu, J., Tang, D. & Zhang, Y. (2014). Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **23**, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.013>
- Zhou, H.-C., Lin, Y.-M., Li, Y.-Y., Li, M., Wei, S.-D., Chai, W.-M. & Fung-Yee Tam, N. (2011). Antioxidant properties of polymeric proanthocyanidins from fruit stones and pericarps of *Litchi chinensis* Sonn. *FRIN*, **44**, 613–620. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.016>
- Zhou, H. C., Lin, Y. M., Li, Y. Y., Li, M., Wei, S. D., Chai, W. M. & Tam, N. F. yee. (2011a). Antioxidant properties of polymeric proanthocyanidins from fruit stones and pericarps of *Litchi chinensis* Sonn. *Food Research International*, **44**(2), 613–620. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.016>
- Zhou, H. C., Lin, Y. M., Li, Y. Y., Li, M., Wei, S. D., Chai, W. M. & Tam, N. F. yee. (2011b). Antioxidant properties of polymeric proanthocyanidins from fruit stones and pericarps of *Litchi chinensis* Sonn. *Food Research International*, **44**(2), 613–620. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.12.016>