



**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA**

UNIDAD IZTAPALAPA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
POSGRADO EN BIOTECNOLOGÍA**

**“Estudio de las asociaciones entre los componentes
químicos, efecto antihiper glucemiante y capacidad
antioxidante de los frutos de litchi cv. Brewster”**

TESIS

Para obtener el grado de
Doctora en Biotecnología

P R E S E N T A:

M. en Biotec. Alexandra Ivette Contreras Castro

Matrícula: 2173801782

Correo: alexandraivette0190@gmail.com

COMITÉ TUTORIAL:

Director: Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

Codirector: Dr. José Alberto Mendoza Espinoza

Asesor: Dr. Ricardo Reyes Chilpa

JURADO:

Presidente: Dr. Francisco José Fernández Perrino

Secretario: Dr. Fernando Rivera Cabrera

Vocal: Dr. Víctor Hugo Oidor Chan

Vocal: Dra. Addy Leticia Zarza García

Iztapalapa, Ciudad de México a 29 enero de 2026

El Doctorado en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluido en el Sistema Nacional de Posgrado (SNP, antes Programa Nacional de Posgrados de Calidad o PNPC) del CONAHCYT, con la referencia 001466.

Se le extiende un cordial agradecimiento al grupo de Investigación de la Academia de Biología Humana del Plantel Casa Libertad de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por la colaboración para la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que contribuyeron a mi formación académica:

Directores: Dr. Fernando Díaz (UAM-I) y Dr. Alberto Mendoza (UACM-CL), por su paciencia, conocimiento y apoyo.

Asesor Dr. Ricardo Chilpa (UNAM) por su colaboración en este proyecto.

Los doctores de la UACM-CL: Dra. Patricia Bustamante, Dra. Roció y Dr. Gabriel por su asesoramiento y apoyo.

Desarrollo personal:

A las profesoras Patricia, Silvia y Bernita del Laboratorio de la UACM-CL, por su empatía y palabras de aliento.

Compañeros de laboratorio Omar y Claudia, profesor Edgar y los chicos de servicio social de UACM-CL que hicieron mi estadía más amena.

Agradecimientos especiales:

CONAHCYT por el apoyo académico para la realización de este proyecto y las futuras publicaciones.

La Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la CDM, por el apoyo recibido como parte del proyecto titulado: "Búsqueda de compuestos dirigidos contra la subunidad α del dímero de tubulina" con número de folio (3617c24) - SECTEI/148/2024, bajo la responsabilidad del Dr. José Alberto Mendoza Espinoza y el Dr. Fernando Díaz de León Sánchez, ambos, codirectores de este proyecto que permitió ampliar el estudio de matrices complejas con actividad biológica

Dra. Clara Pelayo Zaldívar por su profesionalismo y empatía, que me ayudaron a creer en mí misma.

Dra. Clara Cervantes Arista por su apoyo incondicional.

¡MUCHAS GRACIAS!

DEDICATORIAS

Este trabajo se lo dedico:

A mí, por ser resiliente, persistente, tenaz y nunca abandonar mis sueños.

A Honoria Castro Sánchez por ser mi fortaleza y amor incondicional; a *Solovino* por llegar en el momento indicado a mi vida.

A mi gran pilar de vida Ángel Castro Sánchez por su cariño, enseñanzas, paciencia y amor incondicional. Aunque me duele no haberte mostrado este trabajo terminado, lo dedico a tú memoria. Te agradezco infinitamente por ser mi confidente, amigo y fungir como mi papá, me enorgullezco de ser tu hija postiza *¡Te extraño mucho!*

A la memoria de todos mis seres queridos que se me adelantaron en los últimos años: mi hermana del alma *Ingrid Geovanna Miranda Medina* y *mi sobrino Santiago, mis pequeños amores pibil, romeo y crazy (Julieta)*. Doy gracias a la vida por tenerlos en mi vida, aunque fue corto el tiempo que los disfrute, me enseñaron que a pesar de que la vida es dura y solitaria, siempre habrá personas valiosas e irremplazables que estén dispuestas a tendernos una mano sincera cuando más lo necesitemos, siempre los amaré.

¡Vivirán eternamente en mi corazón!

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ABREVIATURAS	IX
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Importancia del control glucémico y su impacto en la salud.....	12
1.2 Búsqueda de alternativas terapéuticas para el control hiperglucémico	13
1.3 Importancia de la postcosecha en la conservación de metabolitos bioactivos	16
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	18
2.1 Breve historia del fruto litchi (<i>Litchi chinensis</i> Sonn.)	18
2.2 Composición química de frutos de litchi.....	19
2.2.1 Metabolitos bioactivos presentes y su actividad biológica.....	19
2.2.2 Efectos antihiperoglucemiantes.....	23
2.2.3 Actividad antioxidante para regulación de la glucosa en sangre	25
2.3 Análisis de correlación en estudios biológicos	27
2.3.1 Métodos estadísticos para evaluar la relación entre compuestos bioactivos y actividades farmacológicas.....	28
2.3.2 Estudios recientes de asociaciones entre farmacología y postcosecha	30
CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN	32
CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS	34
CAPÍTULO 5. OBJETIVOS	34
5.1 Objetivo general	34
5.2 Objetivos específicos.....	34
CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS	36
6.1 Material biológico	36
6.2 Diseño experimental	36
6.3 Obtención de extractos	37
6.4 Análisis químico del perfil de compuestos bioactivos.....	37

6.4.1 Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	37
6.4.2 Cuantificación de polifenoles y flavonoides (espectrofotometría)	37
6.4.3 Actividad antioxidante in vitro.....	37
<i>6.5 Evaluación del efecto antihiper glucemiante (EAH).....</i>	<i>38</i>
<i>6.6 Análisis estadístico.....</i>	<i>38</i>
6.6.1 Herramientas estadísticas	39
6.6.2 Análisis correlacional.....	39
CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	55
CAPÍTULO 9. PERSPECTIVAS	57
CAPÍTULO 10. REFERENCIAS.....	58
CAPÍTULO 11. ANEXOS	67
<i>11. 1A Integración correlacional de la CTGO de C-II.....</i>	<i>67</i>
<i>11. 1B Integración correlacional del ABC de C-II.....</i>	<i>68</i>
<i>11. 2A Integración correlacional de la CTGO de P-I.....</i>	<i>69</i>
<i>11. 2B Integración correlacional del ABC de P-I.....</i>	<i>70</i>
<i>11. 3 Artículo de divulgación científica</i>	<i>71</i>
CAPÍTULO 12. TRABAJOS PRESENTADOS EN EVENTOS ESPECIALIZADOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del fruto <i>Litchi chinensis</i> Sonn.	19
Figura 2. Compuestos fenólicos de cáscara de litchi	20
Figura 3. Compuestos fenólicos de pulpa de litchi	21
Figura 4. Compuestos fenólicos de semilla de litchi	22
Figura 5. Madurez de los frutos de <i>Litchi chinensis</i> Sonn cv. Brewster	36
Figura 6. Curva de tolerancia a la glucosa de la cáscara de exportación (II) de litchi cv. Brewster	42
Figura 7. Curva de tolerancia a la glucosa por vía oral de pulpa inmadura (I) de litchi cv. Brewster	43
Figura 8. Correlaciones de la CTGO vs perfil químico de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	44
Figura 9. Correlaciones del ABC vs perfil químico de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg	45
Figura 10. Correlaciones de la CTGO vs perfil químico de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	47
Figura 11. Correlaciones del ABC vs perfil químico de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg.....	49
Figura 12. Correlaciones de la CTGO vs capacidad antioxidante de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	51
Figura 13. Correlaciones del ABC vs capacidad antioxidante de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg.....	51
Figura 14. Correlaciones de la CTGO vs capacidad antioxidante de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	53
Figura 15. Correlaciones del ABC vs capacidad antioxidante de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg.....	53
Figura 16. Integración del análisis correlacional de la CTGO de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	67
Figura 17. Integración del análisis correlacional del ABC de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg.....	68
Figura 18. Integración del análisis correlacional de la CTGO de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30.....	69
Figura 19. Integración del análisis correlacional del ABC de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Mecanismos de acción de los fármacos ado's para el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 ...	14
TABLA 2. Efectos adversos de los fármacos ado's para el tratamiento de diabetes mellitus tipo 2	15
TABLA 3. Actividad antidiabética en <i>Lichi chinensis</i> Sonn.....	24
TABLA 4. Actividad antioxidante en <i>Lichi chinensis</i> Sonn.	26
TABLA 5. Métodos estadísticos para asociar compuestos bioactivos y actividad farmacológica.....	29
TABLA 6. Análisis cuantitativo y actividad antioxidante de litchi cv. Brewster.....	40

ABREVIATURAS

DM 1	Diabetes Mellitus tipo 1
DM 2	Diabetes Mellitus tipo 2
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (por sus siglas en inglés: <i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>)
ADO'S	Antidiabéticos orales
SUR 1	Receptor de sulfonilureas en células beta, β
AMPK	Proteína cinasa activada por adenosina monofosfato (por sus siglas en inglés: <i>AMP-activated protein kinase</i>)
SGLT2	Inhibidor del cotransportador sodio/glucosa tipo 2 (por sus siglas en inglés: <i>sodium-glucose linked transporter</i>)
DPP4	Inhibidor de la dipeptidil peptidasa 4
GLP-1	Péptido similar al glucagón tipo 1 (por sus siglas en inglés: <i>glucagon-like peptide 1</i>)
GIP	Péptido insulínico dependiente de glucosa (por sus siglas en inglés: <i>gastric inhibitory polypeptide</i>)
PPAR- γ	El receptor γ activado por el proliferador de peroxisomas (por sus siglas en inglés: <i>Peroxisome proliferator-activated receptor gamma, γ</i>)
CTGO	Curva de tolerancia a la glucosa por vía Oral
ABC	Área bajo la curva de la CTGO
EAH	Efecto antihiperglucemiante
GC	Glucosa capilar (mg/dL)

Partes del fruto de litchi

cv.	Cultivar o variedad
C-II	Cáscara en estado de madurez destinado para exportación
P-I	Pulpa inmadura

Análisis químicos cuantitativos

CPT	Contenido de polifenoles totales
AG	Ácido gálico
FT	Flavonoides totales
Q	Quercetina
AZT	Azúcares totales
Gluc.	Glucosa
Fruct.	Fructosa
Sacar.	Sacarosa
AOT	Ácidos orgánicos totales
AA	Ácido ascórbico
AC	Ácido cítrico
AM	Ácido málico
ATart.	Ácido tartárico

Actividad antioxidante

ABTS	2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico
DPPH	2,2-difenil-2-picril-hidroacil

RESUMEN

La Diabetes Mellitus (DM) es una patología crónica y degenerativa caracterizada por la presencia de niveles elevados de glucosa en sangre. Actualmente no existen tratamientos curativos para la diabetes mellitus, sino estrategias de control crónico orientadas a la regulación glucémica. A pesar de la disponibilidad de alternativas terapéuticas, persisten limitaciones clínicas. Por otra parte, estudios publicados en *The Lancet Global Health* sugirieron que el consumo de frutos de litchi inmaduros estaban asociados a brotes recurrentes de encefalopatía aguda o tóxica, que presentaba como principal síntoma hipoglucemia en cientos de niños en India, y sin una atención inmediata podía resultar en consecuencias fatales.

Con base en, el enfoque del presente estudio se orientó a establecer las asociaciones entre el perfil químico, la capacidad antioxidante y el EAH de las dos matrices – P-I y C-II – en modelos biológicos sanos, usando métodos estadísticos, como el coeficiente de Pearson y el análisis multivariante.

Encontrando que el efecto antihiper glucemiante y la capacidad antioxidante no se pueden asociar a un solo metabolito sino al balance global del contenido específico de ciertos azúcares y ácidos orgánicos presentes, como lo demostró este estudio.

Concluyendo que los frutos de litchi cv. Brewster, cultivado en México, constituyen una fuente viable de compuestos bioactivos con potencial uso como coadyuvante del control glucémico. La evidencia científica respalda el aprovechamiento de subproductos agroindustriales (cáscara) y da una visión biotecnológica orientada al desarrollo de futuros fitofármacos o ingredientes funcionales estandarizados. Con ello, se asientan bases para futuros aislamiento de metabolitos claves y validación en modelos patológicos de diabetes mellitus.

ABSTRACT

Diabetes Mellitus (DM), is a chronic and degenerative pathology characterized by the presence of high blood glucose levels. Currently there are no curative treatments for diabetes mellitus, but rather chronic control strategies aimed at glycemic regulation. Despite the availability of therapeutic alternatives, clinical limitations persist. On the other hand, studies published in *The Lancet Global Health* suggested that the consumption of unripe litchi fruits was associated with recurrent outbreaks of acute or toxic encephalopathy, which presented hyperglycemia as the main symptom in hundreds of children in India, and that failure to seek immediate medical attention could have fatal consequences.

Based on this, the focus of the present study was oriented associations between the chemical profile, antioxidant capacity and antihyperglycemic effect of the two matrices – P-I y C-II – in healthy biological models, using statistical models, using statistical methods, such as the Pearson coefficient and multivariate analysis.

Finding that the antihyperglycemic effect and antioxidant capacity cannot be associated with a single metabolite but rather with the global balance of the specific content of certain sugars and organic acids present, as demonstrated by this study.

Concluding that the fruits of litchi cv. Brewster, grown in Mexico, constitute a viable source of bioactive compounds with potential use as an adjuvant for glycemic control. Scientific evidence supports the use of agro-industrial byproducts (peel) and provides a biotechnological vision aimed at the development of future phytopharmaceuticals or standardized functional ingredients. With this, foundations are laid for future isolation of key metabolites and validation in pathological models of diabetes mellitus.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus (DM) es una patología crónica y degenerativa, que se define por persistentes altos niveles de glucosa en sangre (> 120 mg/dL), debido a un grupo de desórdenes metabólicos multifactoriales que obstaculizan la regulación glucémica. De acuerdo con su causalidad se clasifica en DM 1, DM 2, gestacional y otros tipos. La DM 2 es la más prevalente (más del 95% de los casos) y por lo tanto la que ha sido objeto de mayor investigación médica (ADA, 2022).

De acuerdo con cifras calculadas por la International Diabetes Federation (IDF, por sus siglas en inglés) en 2024 se reportaron, a nivel mundial, 589 millones de personas adultas (20-79 años) con diabetes, lo que equivale el 11% de la población mundial. De ellas, 4 de cada 10 personas ni siquiera saben que tiene algún tipo de DM. Para el año 2050, se prevé una prevalencia de más 879 millones de personas en el mundo con algún tipo de DM.

En cuanto a México, en el año 2024 había 13.6 millones de personas y se espera que aumente 19.9 millones de personas para el 2050 (IDF, 2025). Mientras que la OECD (2023) informó que México se encuentra entre los países con mayor prevalencia de DM (más del 10% de personas adultas). Según datos reportados por el INEGI en el 1er semestre del 2025, la DM fue la 2^a causa de muerte en México (14.6 %), por debajo de las enfermedades del corazón y seguidos de los tumores malignos.

1.1 Importancia del control glucémico y su impacto en la salud

La DM 2, agrupa un grupo heterogéneo de trastornos que se caracterizan por distintos grados de variabilidad de resistencia en la insulina, ya sea, defectos genéticos o metabólicos en la secreción o ambas funciones de esta. Como fenotipo común se produce la hiperglucemia, que incrementa el riesgo de complicaciones a corto y largo plazo, mermando la calidad de vida de los pacientes.

Los principales síntomas que caracterizan la DM 2 son la poliuria (exceso de micción), polidipsia (exceso de sed) y polifagia (hambre voraz). Sin embargo, la DM 2 también es precedida por periodos de homeostasis glucémica anormal, que puede catalogarse

como intolerancia a la glucosa en ayuno (IFG, por sus siglas en inglés: *impaired fasting glucose*) o intolerancia a la glucosa (IGT, por sus siglas en inglés: *impaired glucosa tolerance*).

Entre las complicaciones que llegan a padecer los pacientes de DM 2 se distinguen: complicaciones agudas (hipoglucemia, cetoacidosis diabética (CAD), coma diabético, convulsiones, etc.), microvasculares (retinopatía, nefropatía, neuropatía) y macrovasculares (enfermedad coronaria, accidente cerebrovascular) (ADA, 2022). A nivel mundial, la DM 2 se encuentra entre las principales causas de morbilidad y mortalidad y en México es una de las principales causas de muerte prematura y discapacidad.

En este contexto, el control glucémico no se limita al ámbito clínico, sino que abarca una dimensión biotecnológica, farmacológica, nutricional y de salud pública, en el que la investigación científica coadyuva a disminuir el impacto económico que provoca la enfermedad.

En 2024 se destinó a nivel mundial más de 1 trillón de dólares para gastos relacionados al tratamiento de la DM (IDF, 2025). En México, por su parte, el sistema de salud enfrenta gastos crecientes derivados de la atención de complicaciones crónicas y hospitalizaciones, lo que genera una presión considerable sobre los recursos financieros del país.

Desde una perspectiva biotecnológica, el control glucémico abre un campo de investigación enfocado en el desarrollo de nuevas terapias farmacológicas, biomarcadores de diagnóstico temprano, tecnologías de monitoreo continuo de glucosa, y estrategias de medicina personalizada, con el objetivo de generar soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de los pacientes y reduzcan la carga sanitaria del país.

1.2 Búsqueda de alternativas terapéuticas para el control hiperglucémico

Debido al aumento en la prevalencia de la DM 2 en todo el mundo, se ha acentuado la búsqueda de alternativas viables e inocuas que coadyuven en el tratamiento de la DM 2.

Actualmente, el principal tratamiento es el desarrollo de dietas balanceadas complementadas con activación física diseñadas para cada paciente. Sin embargo, no en todos los casos esta estrategia funciona, por lo cual, se recurre a los fármacos antidiabéticos orales (ADO's), cuyo objetivo principal es prevenir, modular y regular los niveles glucémicos por medio de diversos mecanismos de acción (Tabla 1).

Tabla 1. Mecanismos de acción de los fármacos ADO's para el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2

Fármacos ADO's	Mecanismo de acción	Ejemplo	Dianas	Referencia
Sulfonilureas	Secretagogos de Insulina	Glibenclamida	Bloquea el canal K_{ATP} mediante la unión específica al receptor SUR 1 ↑ secreción de insulina	(Pallardo Sánchez, 2008)
Meglitinidas		Repaglinida	Bloquea el canal K_{ATP} mediante la unión al receptor SUR 1 pero en un sitio distinto ↑ secreción de insulina	(Rodríguez Rivera et al., 2017)
Biguanidas	Sensibilizadores de Insulina	Metformina	↓ producción de glucosa hepática Estimula la AMPK, Inhibe lipogénesis y activa la β -oxidación	(Rena et al., 2017)
Tiazolidindionas		Pioglitazona	Actúa como agonista del receptor PPAR γ sensibilizando los tejidos blancos a la insulina	(Rodríguez Rivera et al., 2017)
Inhibidores de SGLT2	Antihiperglucemiantes	Dapagliflozina	Inhibe la reabsorción de glucosa en el riñón	(Mauricio, 2013)
Inhibidores de α -glucosidasa		Acarbosa	Inhibe competitivamente enzimas α -glucosidasas intestinales, impidiendo la hidrólisis de hidratos de carbono complejos	(Gomis, 2008)
Inhibidores de DPP4		Sitagliptina	↑ efecto de GLP1 y GIP ↑ secreción de insulina dependiente de glucosa y suprime la secreción de glucagón	(Alfonso Figueredo et al., 2016)
Agonistas del receptor de GLP1		Exenatida	Suprime la liberación de glucagón e inhibe la motilidad gastroduodenal, potenciando la saciedad y disminuyendo la ingesta de comida	(Jórdan, 2014)

Fuente: Propia

Sin embargo, el uso continuo de los ADO's por su origen sintético y la generación de intolerancia en los pacientes, lleva a que se presenten diversos efectos adversos (Tabla 2), que aunados a patologías preexistentes (renales, cardíacas y hepáticas) pueden agravar el estado de salud y deteriorar la calidad de vida de los pacientes.

Tabla 2. Efectos adversos de los fármacos ADO's para el tratamiento de diabetes mellitus tipo 2

Fármacos ADO's	Ejemplo	Efectos adversos	Contraindicaciones	Referencia
Biguanidas	Metformina	GI (náusea, vómitos, distensión abdominal y diarrea), acidosis láctica (rara) y deficiencia de vitamina B12	Patologías que favorezcan acidosis láctica: IR (ClCr<30mL/min) y ancianos vulnerables con anorexia o bajo peso, IC y/o deshidratación	(Ortiz Lasa <i>et al.</i> , 2017)
Sulfonilureas	Glibenclamida	Hipoglucemia, ganancia de peso, náuseas e hipersensibilidad, alteraciones isquémicas, cutáneas (prurito, dermatitis exfoliativa) y hematológicas (agranulocitosis, trombopenia, anemia hemolítica)	Pacientes que utilicen fibratos, padezcan DM 1 o LADA, pacientes con hepatopatía y/o nefropatía	(Pallardo Sánchez, 2008)
Inhibidores de DPP4	Sitagliptina	GI (náuseas), hipersensibilidad (urticaria, edema facial, angioedema e incluso síndrome de Johnson), infecciones urinarias y respiratorias, casos raros de pancreatitis	En mujeres embarazadas, pacientes con IR (ClCr<50 mL/min) o con IH avanzada	(Alfonso Figueredo <i>et al.</i> , 2016)
Inhibidores de SGLT2	Dapagliflozina	Infecciones micóticas (candidiasis) y bacterianas de la orina, hipotensión, deshidratación y deterioro de la función renal	IH grave, pacientes con osteoporosis, DM1, cetoacidosis diabética y personas mayores de 75 años	(Mauricio, 2013)
Meglitinidas	Repaglinida	Hipoglucemia y ganancia de peso	Pacientes con IR (ClCr <50-30 mL/min).	(Rodríguez Rivera <i>et al.</i> , 2017)
Tiazolidindionas	Pioglitazona	Edemas, fracturas, IC en combinación con insulina y riesgo de carcinoma de vejiga.	Mujeres embarazadas, antecedente de cáncer de vejiga e IR (ClCr<30mL/min)	
Inhibidores de α -glucosidasa	Acarbosa	GI (distensión abdominal, vómito, náuseas o mareo)	Enfermedades GI (úlceras de colon y síndromes de mala absorción) y en mujeres embarazadas	(Gomis, 2008)
Agonistas del receptor de GLP1	Exenatida		Antecedentes de cáncer medular de tiroides neoplasia endocrina múltiple tipo 2 e IR (ClCr < 30 mL/min).	(Jórdan, 2014)

GI: Gastrointestinales (diarrea, náusea, vómito, distensión abdominal); IR: Insuficiencia renal; IC: Insuficiencia cardíaca; IH: Insuficiencia hepática; LADA, diabetes autoinmune latente del adulto (por sus siglas en inglés: *latent autoimmune diabetes of adults*)

Fuente: Propia

En este contexto, los frutos de litchi han surgido como una nueva matriz de estudio de gran interés, debido a que se ha sugerido que su composición química podría estar

asociada con efectos antihiper glucemiantes (EAH) prometedores, en específico utilizando partes del fruto que son considerados como desecho, tales como la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) y en la parte no comestible (pulpa en estado Inmaduro, P-I) por su alta acidez (Contreras Castro, 2019).

1.3 Importancia de la postcosecha en la conservación de metabolitos bioactivos

Ante la prevalencia de la DM 2, se intensificó la búsqueda de nuevas alternativas no farmacológicas que coadyuven a prevenir y/o controlar los niveles glucémicos y que además disminuyan o eviten efectos adversos. Entre las alternativas propuestas destacan los “fitoquímicos” o “fitonutrientes” presentes en alimentos de origen vegetal (frutas, hortalizas, cereales y derivados de ellos). Son compuestos bioactivos no nutritivos que, si bien no tienen una función nutricional definida o esencial para la salud, contribuyen a sus atributos sensoriales, en algunos casos, se les ha reportado actividad biológica benéfica para diversas enfermedades como la DM, que solos o en combinación presentan diversos efectos terapéuticos (Cárdenas Baquero *et al.*, 2016).

En la actualidad, se han identificado diversos compuestos bioactivos, entre los que se encuentran los polifenoles (incluidos los flavonoides), antocianinas, polisacáridos y vitaminas entre otros. Los cuales, han sido asociados con diversas actividades biológicas como antioxidante, antidiabético, inhibidora de diversas enzimas pancreáticas e intestinales con efectos moduladores de la glucemia (Patti *et al.*, 2018).

Cabe mencionar que la composición y proporción de fitoquímicos en el vegetal dependerá de la fruta o vegetal que se esté analizando. Por ello, para maximizar los beneficios a la salud se recomienda consumir diariamente una amplia variedad de alimentos de origen vegetal. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), recomiendan que se consuma un mínimo de 400g de hortalizas y frutas al día, o cinco porciones de 80 g (OMS, 2018).

El presente trabajo contribuye a explorar asociaciones entre las posibles asociaciones entre el perfil químico de los frutos de litchi cv. Brewster y su capacidad para mitigar la

hiperglucemia, esclareciendo cuáles serán los principales grupos de compuestos químicos que estarían contribuyendo en los procesos metabólicos relacionados con la regulación de la glucosa en sangre.

Planteando como objetivo la obtención de correlaciones que asocien el perfil químico cuantificado (contenido de polifenoles y flavonoides totales; azúcares y ácidos orgánicos específicos, abordado en el apartado 6.4), capacidad antioxidante determinada por dos métodos (ABTS y DPPH) y el efecto antihiperglucemiante (EAH) encontrados en las matrices - C-II (cáscara con madurez destinado para exportación) y P-I (pulpa en estado de madurez inmaduro) - de los frutos de litchi cv. Brewster, respectivamente. Contribuyendo con una perspectiva innovadora para el desarrollo de futuros fitofármacos que complementen el manejo terapéutico de la DM 2.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Breve historia del fruto litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)

El litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) es un fruto subtropical originario del Sur de China y Norte de Vietnam, perteneciente a la familia Sapindaceae. En algunos países se considera como exótico por su color atractivo y exquisito sabor. Existen pocos cultivares que se comercialicen, debido a sus requerimientos climático, nutrimental y de propagación. En México, los principales cultivares comerciales son: ‘Brewster’, ‘Mauritius’, ‘Kway My’, ‘Haak Yip’, ‘Groff’ y ‘Sweet Cliff’, siendo Brewster el más comercializado principalmente a los EE. UU., Reino Unido y Francia (CEDRSSA, 2019). Su producción, comparada con la de otros frutos como el mango o el aguacate, es menor, sin embargo, en los últimos años ha ido al alza. En 2021, la producción de litchi fue de 28,576 Ton, siendo los estados de Veracruz (13,525 Ton), Puebla (8,794 Ton), Oaxaca (2,741 Ton) y San Luis Potosí (2,118 Ton) los principales productores (SIACON, 2022).

El litchi, es un fruto no climatérico, por lo que su recolección deberá realizarse cuando el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica (calidad mínima aceptable para su consumo y transportación al punto de venta). Por ello, la comprobación del estado de madurez al momento del corte es de suma importancia, porque determinará su aceptación por el consumidor. Además, se ha visto que el estado de madurez y el tipo de cultivar que se esté analizando, influirán en su composición bioactiva (Reichel *et al.*, 2010). Para determinar la calidad de un fruto, existen parámetros externos (color de la cáscara) e internos (sólidos solubles totales, SST; acidez titulable, AT y su relación SST/AT), pero por su practicidad y confiabilidad los parámetros internos son los más utilizados. Cabe mencionar que estos parámetros están sujetos a variaciones, en función del tipo de cultivar que se esté analizando (Aguas Atlahua *et al.*, 2014).

En estudios previos realizados en huertas comerciales de productores mexicanos de litchi se encontró en el cv. ‘Brewster’ valores de SST/AT óptimos de 30 a 45 para fruta recién cosechada, considerándose inmaduros aquellos que estén por debajo de estos valores.

2.2 Composición química de frutos de litchi

El litchi es un fruto rico en compuestos bioactivos o fitoquímicos, con diferentes grupos químicos en sus estructuras que les confieren diversas actividades biológicas. Entre los grupos de compuestos que se han aislado se encuentran: fenoles, cumarinas, cromanos, lignanos, esteroides, sesquiterpenos, ácidos grasos, entre otros, los cuales dependerán de la parte del fruto que se esté analizando (Ibrahim and Mohamed, 2015).

La parte externa del litchi es delgada, fina, coriácea, dura, áspera y quebradiza, se le conoce como cáscara o pericarpio (Figura 1). Cuando la cáscara presenta una tonalidad de color amarillo verdoso el fruto está inmaduro y conforme alcanza la madurez fisiológica adquiere un tono rojizo brillante.

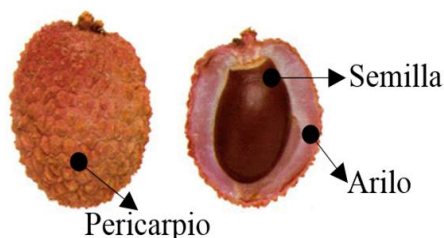


Figura 1. Partes del fruto *Litchi Chinensis* Sonn.

Fuente: Propia

2.2.1 Metabolitos bioactivos presentes y su actividad biológica

Algunas de las actividades biológicas que se le han atribuido a la cáscara de litchi son: antioxidante, anticancerígena, antiviral, inmunomodulador y antidiabética, entre otras (Ibrahim and Mohamed, 2015).

Entre los bioactivos que se han reportado con actividad biológica, en específico antidiabéticos están (Figura 2): Kampferol (**I**); 2-(hidroxi-5-(metoxicarbonilo) fenoxi) ácido benzoico (**II**); isolariciresinol (**III**); procianidina A1 y A2 (**IV**); (-)-epicatequina (**V**); (-)-epicatequina-8-C- β -D-glucopiranosido (**VI**); narangina 7-O-(2,6-di-O- α -L-ramnopiranosil)- β -D-glucopiranosido (**VII**); rutina (**VIII**); cianidina-3-glucosido (**IX**); polisacáridos entre otros (Li *et al.*, 2012).

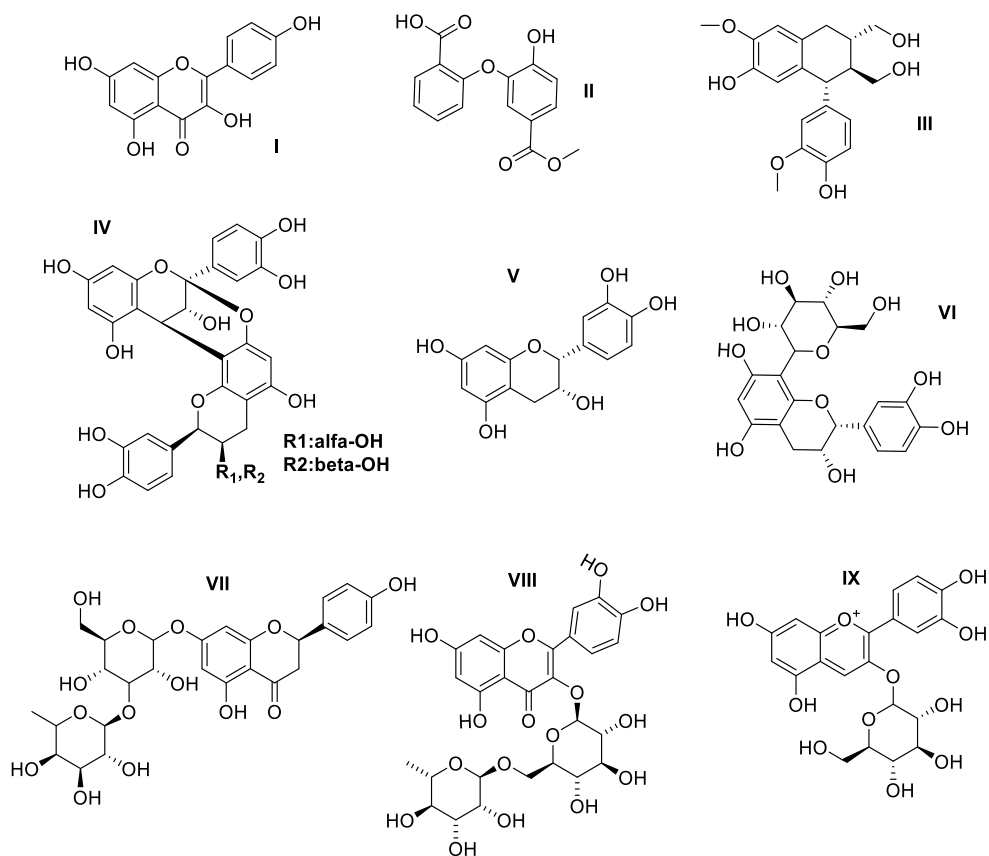


Figura 2. Compuestos fenólicos de cáscara de Litchi

Fuente: Propia

La parte comestible es el arilo o pulpa (Figura 1). El arilo es jugoso, traslucido y está constituida principalmente por agua (76-87% del peso), proteína (0.8-0.9% hasta 1.5%), ácidos orgánicos (0.1-0.2 % málico) y azúcares (glucosa y fructosa) que oscilan entre 10-15% (Aguas Atlahua *et al.*, 2014). Sin embargo, estas oscilaciones dependerán tanto del estado de madurez como del tipo de cultivar que se esté analizando (Wang *et al.*, 2006).

La pulpa se puede consumir en distintas presentaciones: deshidratada, enlatada, congelada, procesado para confituras y elaboración de vino o simplemente como ingrediente de postres, ensaladas y platillos. Sin embargo, la principal forma en que se consume es en fresco. Su aportación nutricional según la USDA (por sus siglas en inglés: *United States Department of Agriculture*) es de un valor energético de 276 kJ (66 kcal/100 g), menor en comparación con otros frutos como la uva roja 306 kJ (86 kcal/100 g). Por consiguiente,

aporta menor cantidad calórica, lo cual, es benéfico para las personas diabéticas. Asimismo, el litchi proporciona una cantidad moderada de fibra dietética, vitamina B, minerales y una adecuada cantidad de vitamina C (40-90 mg/100 g), la cual, satisface las recomendaciones dietéticas de vitamina C para adultos tanto en EE. UU. (65-90 mg/100 g) como en México, que es una ingesta diaria de 60 mg/100 g (NOM-051-SCFI/SSA1, 2010).

Las actividades biológicas que se han reportado en pulpa son: antioxidante, inmunomodulador, antidiabéticas, entre otros (Ibrahim & Mohamed, 2015). Los bioactivos reportados con actividad antidiabéticos (Figura 3) incluyen: (+)-catequina (**I**); ácido cafeico (**II**); ácido clorogénico (**III**), ácido gálico (**IV**); quercetina-3-*O*-rutinosido (**V**); quercetina-3-*O*-rutinosido-7-*O*- α -L-ramnosido (**VI**); procianidina A2 (**VII**), procianidina B2 (**VIII**); (-)-epicatequina (**IX**) entre otros.

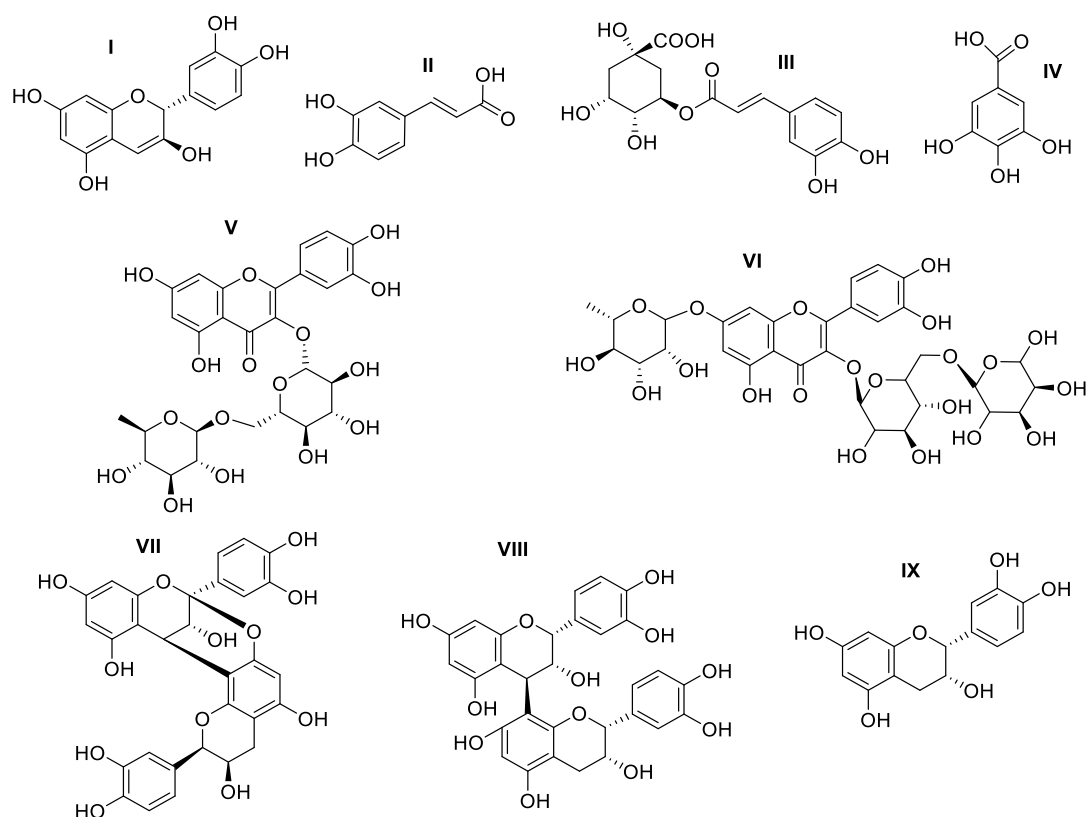


Figura 3. Compuestos fenólicos de pulpa de litchi

Fuente: Propia

En el centro del fruto se encuentra la semilla (Figura 1), la cual, dependiendo del cultivar presentara tamaños variados entre 1-2 cm de longitud y 6-12 mm de ancho. Normalmente, las semillas son de color marrón oscura, casi café y representan el 10-18% del peso del fruto, las cuales, según sea el cultivar se le puede encontrar de diferentes formas (ovoide o un esferoide alargado) pero es la lengua de pollo la preferida, debido que es pequeña y arrugada y no son viables, representando el 4% del peso del fruto, y por ende contendrá un mayor porcentaje de pulpa (Lim, 2013a).

Entre los bioactivos que se han encontrado en la semilla (Figura 4), se encuentran:

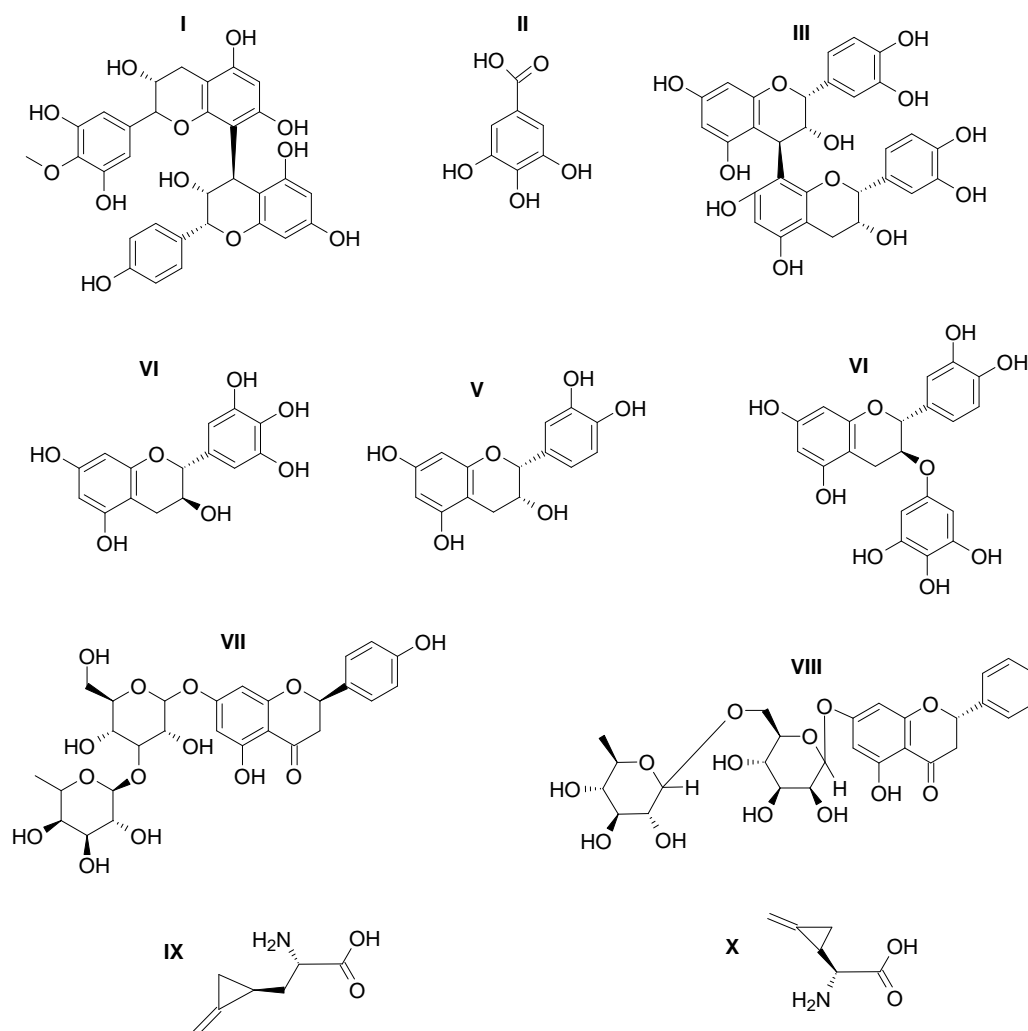


Figura 4. Compuestos fenólicos de semilla de litchi

Fuente: Propia

Los polisacáridos, proantocianidinas tipo A (I); ácido gálico (II); procianidina B2 (III); (-)-gallocatequina (IV); (-)-epicatequina (V); (-)-epicatequina-3-galato (VI) (Zhu *et al.*, 2019) y flavononas como la (2R)-naringenina-7-O-(3-O- α -L-ramnopiranosil - β -D-glucopiranosido) (VII) y (2R)-pinocembrina-7-O-(6-O- α -L-ramnopiranosil- β -D-glucopiranosido), los cuales se ha reportado que presentan actividad inhibitoria de la α -glucosidasa (Ren *et al.*, 2011).

Por otro lado, también se ha reportado la presencia de aminoácidos proteínogénicos (VIII) hipoglicina A (IX) e hipoglicina B (X), que inhiben la β oxidación e interfieren en la acción de varias coenzimas deshidrogenasas esenciales para la gluconeogénesis (Lim, 2013b).

2.2.2 Efectos antihiper glucemiantes

La “actividad antidiabética” y el “efecto antihiper glucemiante” son términos que se relacionan, sin embargo, su enfoque y definición son diferentes en el contexto de la DM. El efecto antihiper glucemiante se refiere a la capacidad de una sustancia o una mezcla de sustancias para reducir los niveles glucémicos por encima de los valores normales de 99mg/dL o menores en ayunas (IDF, 2021).

Es importante mencionar que no necesariamente, este término se limita a la DM, si no también puede incluir momentos de hiper glucemia transitoria, por ejemplo, cuando se consume una alta ingesta de carbohidratos o bien después de la comida.

Por otro lado, la actividad diabética contempla un enfoque integral, es decir, se diseñan tratamientos que contemplan su utilización durante largos periodos de tiempo, con un manejo crónico de la DM y regulación continua de los niveles glucémicos, mediante el uso de fármacos ADO’s con mecanismo de acción antihiper glucemiante, secretagogos o sensibilizadores de insulina (Rodríguez Rivera *et al.*, 2017).

En este contexto, son escasos los estudios del potencial farmacológico del litchi cultivado en México. Sin embargo, en otros países como India, Corea del Sur, Vietnam, Bangladesh y China, se han reportado tanto efectos antidiabéticos como

antihiper glucemiante. A continuación, se hace una breve semblanza de los efectos del fruto de litchi (Tabla 3):

Tabla 3. Actividad antidiabética en *Lichi chinensis* Sonn.

<i>Matriz de estudio</i>	<i>Origen del fruto</i>	<i>Posibles compuestos causales</i>	<i>Actividad atribuible</i>	<i>Referencias</i>
Semilla	China	(2S)-pinocembrina-7-O-(6-O- α -L-ramnopiranosil- β -D-glucopiranosido) y (2R)-naringenina-7-O-(3-O- α -L-ramnopiranosil - β - D-glucopiranosido)	Inhibición de α -glucosidasa	(Ren <i>et al.</i> , 2011)
		Fenoles, flavonoides y procianidinas.	Captación o metabolismo de la glucosa	(Lv <i>et al.</i> , 2014)
		Compuestos ricos en catequinas y glucósidos de pinocembrina	Influencia en el metabolismo de lípidos y niveles de Bax y NF- $\kappa\beta$	(Man <i>et al.</i> , 2016)
Pulpa		Compuesto heteropolisacárido	Inhibición de α -glucosidasa	(Wu <i>et al.</i> , 2020)
Cáscara	Corea de Sur	Delfinida-3-O- β -galactopiranosido-3'-O- β -glucopiranosido	Inhibidores de aldosa reductasa	(Lee <i>et al.</i> , 2009)
Pulpa y semilla	India	Metilciclopropilalanina ó hipoglicina A y su homólogo Metilenciclopropilglicina MCPG ó hipoglicina B	Inhibición de la gluconeogénesis y la β -oxidación	(Asthana <i>et al.</i> , 2019)
Semilla	China	Catequina, procianidina A1 y A2	Inhibición de la hiperfosforilación de la proteína Tau	(Xiong <i>et al.</i> , 2020)

Fuente: Propia

2.2.3 Actividad antioxidante para regulación de la glucosa en sangre

La actividad antioxidante, es la capacidad que poseen ciertas sustancias o compuestos para prevenir o reducir el daño oxidativo, el cual en los últimos años se ha asociado con diversas enfermedades crónicas como la diabetes mellitus (DM).

El daño oxidativo es el proceso por el cual las especies reactivas de oxígeno (ERO's), radicales libres (RL) y sustancias que sin ser RL son suficientes para inducir oxidación (pro oxidantes) causan daño a biomoléculas de interés biológico (proteínas, lípidos y ácidos nucleicos) provocando alteraciones estructurales y funcionales.

El daño oxidativo, ocurre cuando se produce un estrés oxidativo originado por un desequilibrio entre la producción de ERO's y la capacidad del sistema antioxidante del cuerpo para neutralizarlos por medio de diferentes mecanismos de acción antioxidante (Cárdenas Baquero *et al.*, 2015).

Por ello, cualquier compuesto de origen vegetal que presente capacidad antioxidante, jugará un papel importante en diversas industrias. Por ejemplo, la vitamina E previene la rancidez oxidativa en alimentos ricos en grasas en la industria alimentaria y el dióxido de azufre (SO₂) es utilizado en postcosecha para prevenir pardeamiento enzimático y oxidación en frutos como la manzana o la uva (Martínez González *et al.*, 2017).

En este contexto, el litchi es una fuente rica en compuestos fenólicos, los cuales se les han sido asociados con actividad antioxidante. A continuación, se hace una breve semblanza de las actividades antioxidantes reportadas en litchi (Tabla 4).

Tabla 4. Actividad antioxidante en *Lichi chinensis* Sonn.

<i>Matriz de estudio</i>	<i>País de origen</i>	<i>Compuestos con actividad</i>	<i>Metodología empleada</i>	<i>Referencias</i>
Cáscara	China	Polisacáridos	DPPH, Eliminación de HO* y O ₂ *-	(Yang <i>et al.</i> , 2006)
		Antocianinas	DPPH, Eliminación de HO* y O ₂ *- Determinación del poder reductor y efecto inhibitor sobre la degradación de la desoxirribosa	(Duan <i>et al.</i> , 2007)
		Procianidinas	Eliminación de procianidinas oligoméricas sobre HO*	(Liu <i>et al.</i> , 2007)
Pulpa		Polisacáridos	DPPH, Eliminación de HO* y O ₂ *- Determinación del poder reductor y capacidad quelante del ion Fe ²⁺	(Kong <i>et al.</i> , 2010)
Semilla		Compuestos A, B, C, D y E	DPPH. Ensayo TEAC	(Wang <i>et al.</i> , 2011)
Cáscara		Polifenoles y flavonoides totales	ORAC, DPPH	(Li <i>et al.</i> , 2012)
Pulpa		Polifenoles y flavonoides totales	FRAP, DPPH	(Zhang <i>et al.</i> , 2013)
Cáscara		Compuestos 1, 2, 3, 4	DPPH	(Jiang <i>et al.</i> , 2013)
Pulpa	(-)-epicatequina; quercetina-3-O-rutinosido; quercetina-3-O-rutinosido-7-O- α -L-ramnósido	ORAC, CAA	(Su <i>et al.</i> , 2014)	

Notas **Compuesto A:** Ácido protocatecoico; **Compuesto B:** 2 α ,3 α -epoxi-5,7,3',4'-tetrahidroxiflavan-(4 β -8-catequina); **Compuesto C:** 2 α ,3 α -epoxi-5,7,3',4'-tetrahidroxiflavan-(4 β -8)-epicatequina; **Compuesto D:** 2 β ,3 β -epoxi-5,7,3',4'-tetrahidroxiflavan-(4 α -8-epicatequina); **Compuesto E:** pterodantriool D-6-O- β -D-glucopiranosido. **Compuesto 1:** 2-(2-hidroxi-5-(metoxicarbonil) fenoxi) benzoico; **Compuesto 2:** kaempferol; **Compuesto 3:** isolaricresinol; **Compuesto 4:** hidroxitolueno butilado; **Compuesto 5:** 3,4-dihidroxibenzoato. **Abreviaturas:** HO* y O₂*- radicales libres: hidroxilo y superóxido, respectivamente; TEAC: Trolox equivalent antioxidant capacity assay, por sus siglas en inglés; ORAC: oxygen radical absorbance capacity assays, por sus siglas en inglés; CAA: cellular antioxidant activity, por sus siglas en inglés

Fuente: Propia

En un estudio de maestría previo llevado a cabo en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I) en colaboración con la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) plantel Casa Libertad, se realizó un análisis de los frutos de litchi cv. Brewster cultivados en la finca Santa Sofía, Tuxtepec, Oaxaca. Los frutos fueron cosechados en dos estados de madurez: inmaduro (I) y con estado de madurez destinado para exportación (II). El estudio, se centró en la evaluación del efecto antihiper glucemiante (EAH) de los frutos, debido a que informes previos publicados en revistas científicas de renombre “The Lancet Global Health” y diversos periódicos como el New York Times, publicaron que

aparentemente el consumo de frutos de litchi inmaduros estaban asociados a brotes recurrentes de encefalopatía aguda o tóxica, la cual presentaba como principal síntoma hipoglucemia en cientos de niños en la India, y sin una atención inmediata podía resultar en consecuencias fatales (Shrivastava *et al.*, 2017).

Posteriormente, Spencer & Palmer (2017) publicaron que se le había asociado inequívocamente la culpa al fruto de litchi, debido a que, no se habían contemplado factores como la edad y el estado de nutrición de los niños, así como la exposición de los frutos a pesticidas e incluso a virus neurotrópicos.

Además, de que no se consideró, que las enfermedades inducidas por sustancias químicas dependen de la dosis y la susceptibilidad individual, traduciéndose en la cantidad de fruto que consumieron los niños y la concentración de metabolitos (aminoácidos hipoglucémicos) previamente identificados y relacionados a la enfermedad conocida como vomito jamaiquino, inducida por otro miembro de la familia Sapindaceae, específicamente de su primo hermano el ackee (*Blighia sapida*).

Por ello, y ante la incertidumbre de no saber en ese momento, si las afirmaciones eran ciertas y la preocupación expresada por los principales productores de litchi en México, de que podían presentar repercusiones en sus ventas, especialmente en el mercado internacional, surgió la solicitud de evaluar el efecto antihiperoglucemiante de los frutos inmaduros y los que se encontraran en estado de madurez destinados para exportación. Además de contribuir a este estudio, se buscó añadir un valor agregado al analizar partes generalmente consideradas como desecho (cáscara y semillas).

En este contexto, se presentará una breve recapitulación de los resultados obtenidos en el estudio previo realizado por Contreras Castro (2019) en la sección VI. Materiales y Métodos del presente trabajo. A partir de esta sección solo nos enfocaremos en las partes del fruto que presentaron EAH y serán retomados en la sección VII. Resultados y Discusión.

2.3 Análisis de correlación en estudios biológicos

En la búsqueda de nuevas matrices de origen vegetal que coadyuven al tratamiento de diversos padecimientos, se han implementado herramientas estadísticas que ayuden a

relacionar variables, tales como, los perfiles fitoquímicos y los posibles efectos farmacológicos que estos puedan presentar. Sin embargo, se deben de considerar:

- ❖ El tipo de variable a analizar, si es numérica continua o una variable discreta, es decir, si los datos recabados se midieron o si se contaron
- ❖ El tipo de distribución normal, que sigan los datos recabados, a través de pruebas de hipótesis

Según el tipo de investigación que se busca y con base en los datos, se identifica el tipo de procedimiento estadístico que se va a utilizar. Cuando el tipo de variables son paramétricas, es decir, siguen una distribución normal se proceden a hacer pruebas paramétricas y en dado caso de que no la sigan se utilizan pruebas no paramétricas.

2.3.1 Métodos estadísticos para evaluar la relación entre compuestos bioactivos y actividades farmacológicas

En consecuencia, las pruebas que se emplean, siguen una serie de combinaciones de métodos estadísticos univariados y multivariados para descubrir asociaciones, reducir dimensionalidad y construir modelos predictivos que nos ayuden a visualizar sus posibles comportamientos. Algunos de los métodos estadísticos más empleados se describen brevemente en la Tabla 5:

Tabla 5. Métodos estadísticos para asociar compuestos bioactivos y actividad farmacológica

Método	Utilidad	Finalidad
Correlación y regresión	Mide la relación lineal entre una variable química y una medida de actividad, se usan los coeficientes de correlación: Pearson, asumiendo una distribución normal y Spearman para relaciones monotónicas o datos con rangos/outliers	En el caso específico del coeficiente de Pearson (γ), es importante comprobar los supuestos de normalidad y homocedasticidad, así como su prueba de significancia que se evalúa por medio de valores + o -, valores que no necesariamente implica causalidades.
Regresión lineal simple	Evalúa el cambio de una variable dependiente (ej. Actividad farmacológica) ante cambios de una variable independiente (ej. contenido de un compuesto bioactivo)	Ajustar modelos que se adapten a lo que se desea buscar, por ejemplo: Actividad antioxidante= $\beta_0 + \beta_1 \times \text{DPPH} + \text{error}$, se estima β_1 , en donde, se prueba, si $\beta_1 \neq 0$, y se utilizan R^2 para visualizar el porcentaje de variabilidad que se explica
Regresión lineal múltiple/modelos de regresión múltiple	Se tienen varias variables numéricas que pueden contribuir conjuntamente a un efecto farmacológico	Ajustar modelos que se adapten a lo que se desea buscar, por ejemplo: efecto antihiper glucemiante= $\beta_0 + \beta_1 \times \text{contenido de polifenoles totales} + \beta_2 \times \text{flavonoides totales} + \beta_3 \times \text{antioxidantes} + \dots$, este tipo de análisis también se le conoce como multicolinealidad y se realiza con pruebas F global y R^2 ajustado, etc.
Análisis multivariante como PCA (análisis de componentes principales) y PLS (regresión por mínimos cuadrados parciales)	Se utiliza cuando se desea reducir la dimensionalidad de cierto perfil, o relacionar muchas variables cuantitativas con actividades biológicas sin tener colinealidad elevada	Conjunto de variables cuantitativas vs componentes principales; posteriormente se correlacionan componentes principales con las actividades biológicas. En el caso de PLS directamente se buscan los componentes que maximizan correlación con variables respuestas (se utiliza cuando se buscan casualidades)
Pruebas estadísticas de comparación (ANOVA, t-test)	Compara efectos farmacológicos entre diferentes grupos de estudio (ej, dosis de ciertas sustancias que presentar un efecto significativo)	Cuando se encuentran diferencias entre los grupos de determinada actividad, se procede a explorar correlaciones dentro de cada grupo de estudio

Fuente: Propia

2.3.2 Estudios recientes de asociaciones entre farmacología y postcosecha

Entre los estudios recientes que se han encontrado en materias de asociaciones farmacológicas y postcosecha, se encuentra:

Izu *et al.* (2024), identificaron flavonoides específicos (-)-epicatequina, proantocianidinas, etc., mediante la administración de distintas dosis del extracto de la cáscara a ratas diabéticas. El estudio demostró que presentaban una mejora en tolerancia a la glucosa, mediante la señalización de Akt (proteína quinasa B), y almacenamiento de glucógeno, entre otros. La mejora en los parámetros fisiológicos se asoció principalmente con la presencia de flavonoides mediante una prueba de ANOVA, análisis de ABC y comparaciones múltiples.

Por otra parte, Yang *et al.* (2024), realizaron su estudio en ratones db/db, en donde encontraron que los extractos ricos en polifenoles principalmente (-) -epicatequina, la cual, reduce los niveles de glucosa, activando AMP κ (por sus siglas en inglés: proteína cinasa activada por adenosina monofosfato) y suprimiendo PEPC κ (por sus siglas en inglés: *fosfoenolpiruvato carboxiquinasa*), mientras que se inducían actividades de Nrf2 (por sus siglas en inglés: *factor nuclear 2 relacionado con el factor eritroide 2*) y enzimas antioxidantes como SOD (por sus siglas en inglés: *superoxidasa dismutasa*) y NAD(P)H (por sus siglas en inglés: *NAD(P)H: quinona oxidorreductasa 1*). Entre las correlaciones que se encontraron destaca la del contenido de polifenoles y los marcadores del metabolismo, los cuales fueron clave en la disminución glucémica.

Ante la búsqueda de información que complementara el presente estudio, se encontraron limitaciones y vacíos desde la perspectiva biotecnológica, aunque se han reportado estudios de correlaciones entre perfil químico, capacidad antioxidante y efecto antihiper glucemiante, estos presentan limitaciones metodológicas y vacíos de conocimiento relevantes. Debido a que la mayoría se basan en análisis *in vitro* y métodos experimentales simplificados, lo que dificulta extrapolar los resultados a sistemas biológicos complejos y a condiciones fisiológicas reales (Izu *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2024).

Asimismo, existe una alta variabilidad en los métodos de extracción, identificación y cuantificación de compuestos bioactivos (particularmente de polifenoles y flavonoides), lo que limita la comparación entre estudios y la robustez de las correlaciones estadísticas obtenidas. Otro vacío importante es la escasa consideración de factores agronómicos y ambientales (como tipo de suelo, clima, etc.) que pueden influir o modificar de manera significativa el perfil químico de los frutos (Reichel *et al.*, 2010).

Finalmente, son limitados los estudios que integran análisis multivariados avanzados o ensayos *in vivo* o clínicos que permitan establecer relaciones causales sólidas entre los compuestos, su capacidad antioxidante y su potencial antihiperoglucemiante, lo que evidencia la necesidad de enfoques biotecnológicos más integrales y estandarizados.

CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN

La diabetes mellitus tipo 2 (DM 2) representa unos de los principales retos de salud pública a nivel mundial y nacional, no solo por su alta prevalencia, sino por las complicaciones metabólicas crónicas que conlleva y el alto impacto económico que genera en los sistemas de salud. A pesar de la disponibilidad de diversos fármacos antidiabéticos orales con mecanismos de acción bien establecidos, el manejo de la DM 2 continúa siendo limitado a estrategias de control crónico, frecuentemente acompañadas de efectos adversos, baja adherencia terapéutica y contraindicaciones en pacientes con comorbilidades preexistentes. En este contexto, resulta prioritario explorar alternativas complementarias de origen natural que contribuyan al control glucémico y que, potencialmente, reduzcan la carga farmacológica en los pacientes.

Los frutos de *Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster constituye una matriz vegetal de interés biotecnológico debido a su compleja composición química y a los reportes previos que sugieren la presencia de compuestos con actividad antioxidante y efectos moduladores del metabolismo de la glucosa. No obstante, la mayoría de los estudios disponibles se han enfocado en la identificación aislada de metabolitos o en la evaluación de actividades biológicas de manera independiente, sin considerar la interacción simultánea entre los distintos componentes químicos del fruto ni su posible relación con el efecto antihiper glucemiante observado *in vivo*. Asimismo, existe una clara limitación de estudios realizados con frutos cultivados en México, a pesar de su relevancia productiva y comercial.

Desde esta perspectiva, la presente investigación se justifica por la necesidad de generar evidencia científica que permita **integrar el perfil químico cuantificado, la capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante bajo un enfoque correlacional**, con el fin de comprender de manera más integral la contribución de matrices vegetales complejas al control de la hiper glucemia. En particular, el análisis de la pulpa en estado de madurez inmaduro (P-I) y de la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) permite no solo evaluar fracciones con actividad biológica demostrada, sino también revalorizar partes del fruto que tradicionalmente son consideradas como desecho agroindustrial.

El enfoque metodológico adoptado en este trabajo aporta un valor añadido al utilizar herramientas estadísticas correlacionales para identificar asociaciones significativas entre variables químicas específicas (polifenoles, flavonoides, azúcares y ácidos orgánicos), la capacidad antioxidante y la respuesta glucémica *in vivo*. Este abordaje evita interpretaciones reduccionistas centradas en metabolitos individuales y reconoce la naturaleza multifactorial de los efectos biológicos asociados a matrices vegetales complejas, alineándose con las tendencias actuales de investigación en biotecnología, nutrición funcional y desarrollo de fitofármacos.

En conjunto, esta tesis se justifica no solo por su contribución al entendimiento de las asociaciones entre composición química y efecto antihiper glucemiante del litchi cv. Brewster, sino también por su potencial impacto en el aprovechamiento integral de recursos vegetales, la generación de conocimiento aplicable al diseño de productos funcionales y el establecimiento de bases científicas sólidas para futuras investigaciones mecanísticas y clínicas orientadas al manejo de la DM 2.

CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS

Existe una asociación estadísticamente significativa entre la composición química cuantificada (polifenoles y flavonoides totales, azúcares y ácidos orgánicos específicos), la capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante observado *in vivo* en la cáscara en estado de madurez destinada para exportación (C-II) y en la pulpa en estado de madurez inmaduro (P-I) de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn cv. Brewster cultivados en México, de tal forma que el efecto antihiper glucemiante responde al balance global de estos compuestos y no a la acción aislada de un solo metabolito.

CAPÍTULO 5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar las asociaciones entre el perfil químico cuantificado, la capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante de la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) y la pulpa en estado de madurez inmaduro (P-I) de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster cultivados en México, mediante un enfoque correlacional.

5.2 Objetivos específicos

Parte I. Análisis de datos previamente obtenidos

1. Analizar los datos del perfil químico del contenido de polifenoles y flavonoides totales, así como los azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (ascórbico, cítrico, málico y tartárico) en la cáscara C-II y en la pulpa P-I de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster.
2. Evaluar la capacidad antioxidante *in vitro* de los extractos metanólicos de la cáscara C-II y la pulpa P-I mediante los métodos ABTS y DPPH
3. Determinar y evaluar el efecto antihiper glucemiante *in vivo* de la cáscara C-II y la pulpa P-I a través de la curva de tolerancia a la glucosa por vía oral (CTGO) y el análisis del área bajo la curva (ABC) en ratas Wistar sanas.

Parte II. Perfil químico y efecto antihiper glucemiante

1. Establecer asociaciones estadísticas entre el perfil químico cuantificado del contenido de polifenoles y flavonoides totales, azúcares específicos - glucosa, fructosa y sacarosa - ácidos orgánicos específicos - ascórbico, cítrico, málico, tartárico - y el efecto antihiper glucemiante (*in vivo* en ratas sanas Wistar) observados en la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) y la pulpa en estado inmaduro (P-I), previamente analizadas

Parte III. Capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante

2. Analizar las asociaciones entre la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) de la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) y de la pulpa en estado inmaduro (P-I) previamente analizadas y el efecto antihiper glucemiante

Parte IV: Integración del análisis correlacional

3. Identificar patrones de asociación que expliquen el efecto antihiper glucemiante en función del balance global de compuestos bioactivos presentes en cada fracción del fruto (C-II y P-I)

CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Material biológico

Los frutos de litchi (*Litchi Chinensis* Sonn.) cv. Brewster, fueron colectados el 10 de mayo de 2018 y transportados en cadena de frío, desde la Finca Santa Sofia, Tuxtepec, Oaxaca, México hasta la UAM Iztapalapa, CDMX. Los frutos se seleccionaron por ausencia de defectos fisiopatológicos y uniformidad de tamaño y color. Posteriormente, se formaron grupos de 50 frutos al azar de los estados de madurez I-Inmaduro y II-Madurez destinado para exportación (Figura 5).

El estado de madurez se evaluó mediante el índice de madurez (SST/AT), cuantificación de sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT). El cálculo del cociente (SST/AT) fue de un rango de 30 a 45 para frutos con una calidad mínima aceptable para su consumo y transportación a los puntos de venta y rango \leq a 17 para frutos inmaduros (Reichel *et al.*, 2010). Se utilizó el jugo de 10 frutos por triplicado, utilizando la metodología propuesta por Gómez Covarrubias *et al.* (2020).



Figura 5. Madurez de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn cv. Brewster

Fuente: Propia

6.2 Diseño experimental

Se formaron unidades experimentales (UE, $n=3$), por cada parte del fruto – pulpa y cáscara - en los estados de madurez I (inmaduro) y II estado de madurez destinado para exportación (II), respectivamente por triplicado. A continuación, cada unidad experimental se liofilizó (-49°C , 0.110 mBar por 72 h). Posteriormente se pulverizaron y almacenaron en frascos ámbar a -20°C .

6.3 Obtención de extractos

A cada UE liofilizada se le añadió metanol grado HPLC para obtener extractos metanólicos, los cuales, se prepararon utilizando la metodología propuesta por Can Cauich *et al.* (2017). El metanol extrae compuestos con polaridad alta e intermedia debido a su constante dieléctrica.

6.4 Análisis químico del perfil de compuestos bioactivos

El conocimiento previo de los compuestos químicos predominantes en cualquier matriz es fundamental para comprender sus posibles propiedades terapéuticas en el organismo. Con este propósito en mente, se cuantificó el contenido de polifenoles y flavonoides totales; ácidos orgánicos y azúcares específicos en la pulpa I-Inmaduro y en la cáscara II- madurez destinado para exportación de los frutos de litchi cv. Brewster.

6.4.1 Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Se determinaron cuantitativamente los ácidos orgánicos (AO): cítrico (AC), málico (AM), tartárico (ATart.) y la vitamina C (ácido ascórbico, AA) expresados en mg de cada ácido orgánico/100 g PS y los azúcares: glucosa (Gluc.), fructosa (Fruct.) y sacarosa (Sacar.) expresados en mg de cada azúcar/100 g peso seco (PS) utilizando la metodología adaptada por Cervantes Arista *et al.* (2020).

6.4.2 Cuantificación de polifenoles y flavonoides (espectrofotometría)

El contenido de polifenoles totales (CPT) y flavonoides totales (FT) se cuantificaron por los métodos colorimétricos descritos por Aarland Clarence *et al.* (2017) y las respectivas concentraciones se expresaron en equivalentes de g ácido gálico (g AG) para CPT y g quercetina (g Q) para FT, ambos por cada 100 g PS.

6.4.3 Actividad antioxidante in vitro

La capacidad antioxidante se determinó por los métodos: DPPH (2,2-difenil-2-picril-hidroacil) 0.1 mM en metanol (Nair y Roopalata, 2013) y ABTS (2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6-ácido sulfónico) con buffer de fosfato (PBS 1X) a pH 7.4 (Cervantes

Arista *et al.*, 2020). Las absorbancias fueron leídas a 515 nm para DPPH y 734 nm para ABTS. La actividad antioxidante se expresó en mg de ácido ascórbico por 100 g PS.

6.5 Evaluación del efecto antihiper glucemiante (EAH)

El EAH se evaluó por medio de una curva de la tolerancia a la glucosa por vía oral (CTGO), se utilizaron ratas Wistar macho sanas (aprox., 200 g), a las cuales se les preparó y acondiciono previo a la experimentación, de acuerdo a la NOM-062-ZOO (1999). Se realizó un experimento por cada parte del fruto (C-II y P-I) y cada experimento contó con 5 grupos experimentales ($n=6$).

A las ratas se les marcó en la cola y se les colocó en cajas colectivas. Previó a la administración de los tratamientos, a todas las ratas se le sometió a un ayuno de 12-14 h, para poder obtener la glucosa basal. Los tratamientos que se administraron fueron los siguientes: control negativo (CN, 2 g de dextrosa anhidra/kg disuelto en agua, comúnmente conocida como glucosa), control positivo (CP, 300 mg/kg de metformina disuelta en una solución salina isotónica (0.9% NaCl), y 3 dosis experimentales de 25, 100 y 200 mg/kg de cada liofilizado (C-II y P-I).

Posteriormente, a todos los grupos se les administró una carga de glucosa (2 g de dextrosa anhidra/kg disuelto en agua) para generar hiperglucemia. El CP se administró 30 minutos antes de la carga de glucosa y en los liofilizados 15 minutos antes de la carga de glucosa. Las mediciones de los niveles glucémicos se hicieron cada 30 minutos durante un periodo de 2 h con la ayuda de un glucómetro Accu-chek (Roche), realizando una punción en las colas de las ratas para obtener una gota de sangre.

6.6 Análisis estadístico

Los datos de análisis químicos cuantitativos y actividad antioxidante se compararon mediante un análisis de varianza de una sola vía (una vía ANOVA, por sus siglas en inglés: *one-way analysis of variance*), seguido de una prueba de Tukey ($P > 0.05$) y para los datos del EAH, se analizó por una vía ANOVA seguido de una prueba de Dunnette ($P > 0.05$) con respecto a un control negativo (CN, 2g glucosa/kg).

6.6.1 Herramientas estadísticas

En ambos casos, se utilizó el software SPSS (versión 24 para Windows). Para las gráficas se utilizó el software GraphPad Prisma (versión 6 para Windows).

6.6.2 Análisis correlacional

A partir de los estudios realizados por Contreras Castro (2019), las partes del fruto que presentaron EAH significativo fueron las partes C-II y P-I, ambas, en una dosis de 100 mg/kg del liofilizado. Asimismo, ambas presentaron EAH al minuto 30 de la curva de tolerancia a la glucosa por vía oral (CTGO) y en el área bajo la curva (ABC). A continuación, se hizo el análisis correlacional de la siguiente manera:

Variable dependiente: Glucosa capilar (GC) expresado en mg/dL

Variables independientes (análisis cuantitativos): Contenido de polifenoles totales (CPT) expresado en mg AG/100 g PS y Flavonoides totales (FT) expresado en mg Q/100 g PS; azúcares totales (AT) y específicos: Glucosa (g Gluc. /100 g PS), Fructosa (g Fruct. /100 g PS), Sacarosa (g Sacar. /100 g FS); ácidos orgánicos totales (AOT) y específicos: Ascórbico (mg AA/100 g PS), Cítrico (mg AC/100 g PS), Tartárico (mg ATart. /100 g PS) y Málico (mg AM/100 g PS)

Variables independientes (actividad antioxidante): ABTS (mg AA/100 g PS) y DPPH (mg AA/100 g PS)

Pruebas de Hipótesis:

Ejemplo: Correlación entre el CPT y GC de la dosis de 100 mg/kg del liofilizado de C-II al minuto 30 de CTGO y en el ABC

H₀: No existe correlación el CPT y la GC al minuto 30 de la CTGO y en el ABC

H₁: Existe correlación CPT y la GC al minuto 30 de la CTGO y en el ABC

Nivel de significancia (α): 0.01** y 0.05*

Estadístico de prueba: Correlación de Pearson, valores (-1 a 1)

CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parte I. Análisis de datos previamente obtenidos

A continuación, en la Tabla 6 se presentan los resultados del perfil químico y la capacidad antioxidante previamente obtenido en el estudio realizado por Contreras Castro (2019)

Tabla 6. Análisis cuantitativo y actividad antioxidante de *Litchi Chinensis* Sonn cv. Brewster

Compuestos químicos	Fracción del fruto	
	Cáscara	Pulpa
	Estados de madurez	
	II	I
Cuantitativos		
^A Polifenoles Totales	1.6 ± 0.08 ^d	0.8 ± 0.08 ^b
^B Flavonoides Totales	0.2 ± 0.02 ^b	0.06 ± 0.005 ^c
^C Ácido ascórbico	6599 ± 2029 ^a	313 ± 119 ^b
^C Ácido cítrico	3967 ± 3510 ^a	554 ± 194 ^b
^C Ácido málico	1096 ± 56 ^a	1230 ± 85 ^b
^C Ácido tartárico	455 ± 134 ^d	502 ± 170 ^b
^C Ác. Orgánicos totales	12116 ± 5669 ^{ac}	2599 ± 475 ^b
^D Glucosa	0.002 ± 0.0 ^a	2.54 ± 0.3 ^b
^D Fructosa	0.002 ± 0.0 ^a	1.4 ± 0.4 ^b
^D Sacarosa	0.002 ± 0.0 ^a	2.4 ± 0.3 ^b
^D Azúcares totales	0.006 ± 0.0 ^a	6.3 ± 0.8 ^b
Actividad antioxidante		
^E ABTS	3190 ± 1620 ^c	2389 ± 24 ^a
^E DPPH	1900 ± 640 ^{ca}	163 ± 21 ^b

Nota: Los datos fueron expresados en media ± desviación estándar ($n=3$). Todos los análisis fueron preparados con EM: Extracto metanólico. Los estados de madurez se abreviaron como I-Inmaduro y II-Exportación. ^A CPT expresados en g de Ácido gálico (AG)/100 g PS. ^B Flavonoides totales expresados en g Quercetina (Q)/100 g PS. ^C Expresado en mg de cada ácido determinado/100 g PS. ^D Expresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^E Expresado en mg de ácido ascórbico/100 g PS. ^{abcde} Letras diferentes en superíndice indican diferencias significativas ($P<0.05$) entre fracciones y estados de madurez

Fuente: Propia

Tanto la cantidad de azúcares como la presencia de ácidos orgánicos son factores cruciales que influyen en la percepción sensorial de cualquier fruto. Esta percepción está

estrechamente relacionada con la cantidad, el tipo y el equilibrio de estos compuestos en la matriz compleja.

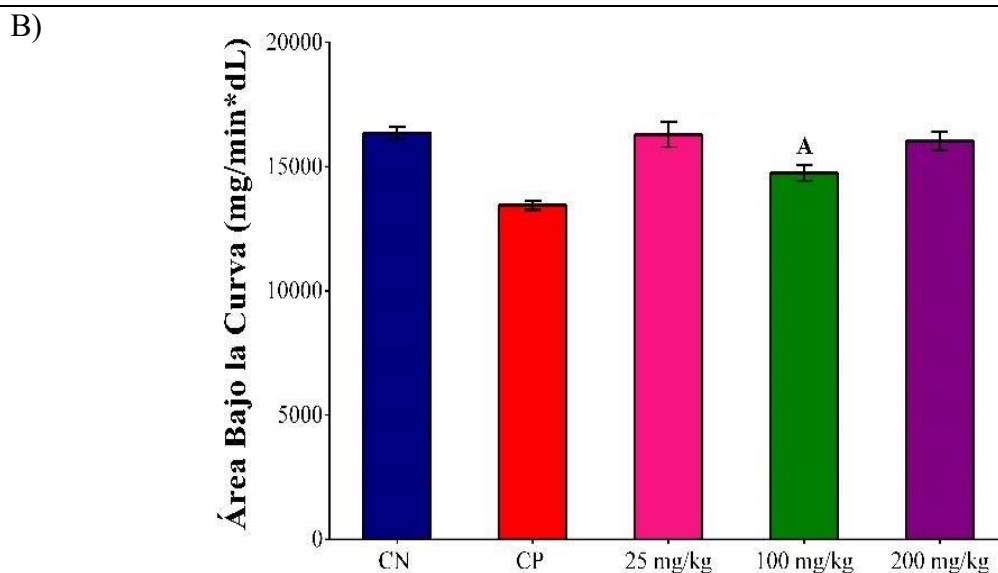
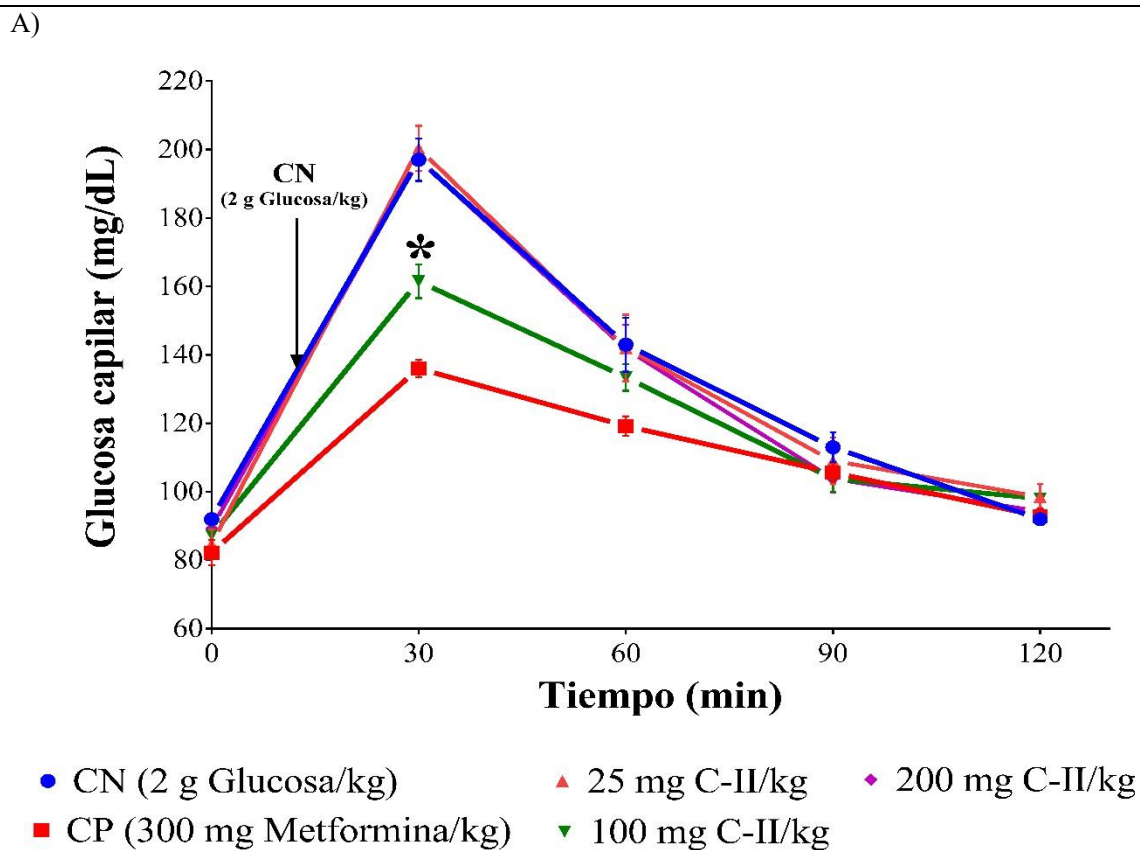
En lo que concierne al fruto litchi cv. Brewster, la pulpa en estado inmaduro (P-I) fue la parte del fruto que presentó una mayor concentración de azúcares, la glucosa fue el predominante comparado con la cáscara (C-II). La presencia de ácidos orgánicos en P-I contribuyó a la acidez característica del fruto y su característica no apto para su consumo. La cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II) presentó un contenido significativo de ácidos orgánicos, siendo el ácido ascórbico (vitamina C) el más predominante.

Por otro lado, la C-II mostró un contenido notablemente mayor tanto en polifenoles como en flavonoides totales, y esta mayor presencia se vio reflejada en la detección de actividad antioxidante con los dos métodos utilizados para evaluarla. Aunque el contenido polifenólico en la P-I fue menor, también fue detectada actividad antioxidante por ambos métodos, aunque mayor para el método ABTS.

La representación gráfica de las mediciones de la glucemia en función del tiempo (CTGO), se observó que en ambas partes del fruto (C-II y P-I) las dosis de 100 mg/kg produjeron EAH.

En el caso de C-II (Figura 6A), se observó una significativa disminución de la glucosa capilar al minuto 30 ($P=0.0023$). Al analizar la glucosa total a lo largo de la prueba (ABC, Figura 6B) la mezcla fue capaz de prevenir un aumento postprandial en forma significativa ($P= 0.000044$), de manera similar a la observada con metformina (fármaco de referencia y control positivo, CP).

Figura 6. Curva de tolerancia a la glucosa de la cáscara de exportación (II) de litchi cv. Brewster

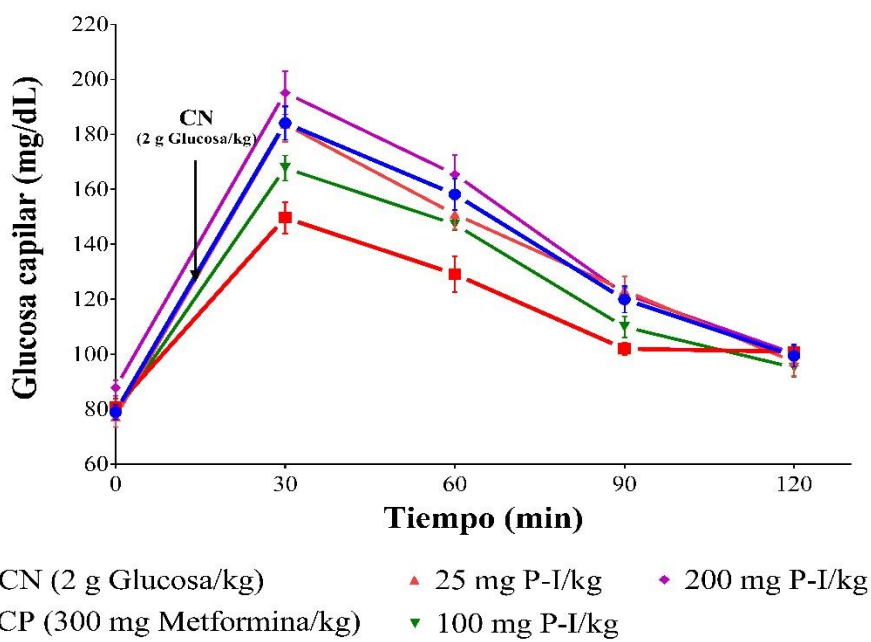


Nota: A) Curva de tolerancia a la glucosa por vía oral (CTGO) y B) Área Bajo la curva (ABC) Abreviaturas: Cáscara en estado de madurez destinado para Exportación (C-II), Análisis de varianza de una vía (ANOVA) seguido de una prueba de Dunnett ($n=6$). A Diferencias significativas ($P<0.05$) con respecto al CN.

Fuente: Contreras Castro, 2019

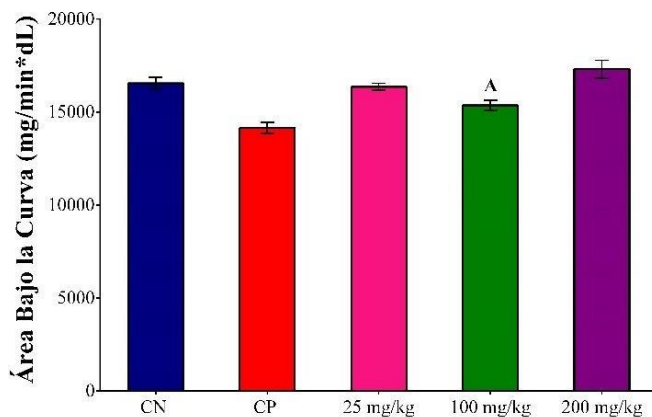
En la CTGO de la P-I, (Figura 7C), se evidenció una disminución notable de la glucosa capilar; sin embargo, esta disminución es insignificante en comparación con los valores del CN y CP. En el análisis de la glucosa total en el ABC (Figura 7D), se observó una diferencia estadísticamente significativa ($P=0.026$) con respecto al CN, lo que sugiere que la P-I tiene potencial de inducir un EAH.

Figura 7. Curva de tolerancia a la glucosa por vía oral de pulpa inmadura (I) de litchi cv. Brewster



C)

D)



Nota: C) Curva de tolerancia a la glucosa por vía oral (CTGO) y D) Área Bajo la curva (ABC). Abreviaturas: Pulpa Inmadura (P-I). Análisis de varianza de una vía (ANOVA) seguido de una prueba de Dunnett ($n=6$). A Diferencias significativas ($P<0.05$) con respecto al CN

Fuente: Contreras Castro, 2019

Parte II. Perfil químico y efecto antihiper glucemiante

Al realizar el análisis correlacional entre el perfil químico y el efecto antihiper glucemiante de los resultados previamente examinados y presentados en los apartados 6.4 y 6.5, de ambas fracciones se observaron las siguientes correlaciones:

Figura 8. Correlaciones de la CTGO vs perfil químico de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D Gluc.	^D Fruct.	^D Sarc.	^E AA	^E AC	^E ATart.	^E AM	^D AT	^E AOT
^A GC	Y	1	0.477	-0.338	-0.325	-0.154	-0.243	0.316	-0.316	-0.316	0.316	-0.354	0.316
	Sig.		0.169	0.256	0.265	0.385	0.322	0.271	0.271	0.271	0.271	0.245	0.271
^B CPT	Y	0.477	1	-0.087	-0.771*	-0.503	-0.648	0.416	-0.416	-0.416	0.416	-0.810*	0.416
	Sig.	0.169		0.435	0.036	0.155	0.082	0.206	0.206	0.206	0.206	0.025	0.206
^C FT	Y	-0.338	-0.087	1	-0.102	-0.003	-0.052	0.209	-0.209	-0.209	0.209	-0.121	0.209
	Sig.	0.256	0.435		0.424	0.498	0.461	0.345	0.345	0.345	0.345	0.410	0.345
^D Gluc.	Y	-0.325	-0.771*	-0.102	1	.912**	.976**	0.088	-0.088	-0.088	0.088	.996**	0.088
	Sig.	0.265	0.036	0.424		0.006	0.000	0.434	0.434	0.434	0.434	0.000	0.434
^D Fruct.	Y	-0.154	-0.503	-0.003	.912**	1	.979**	0.490	-0.490	-0.490	0.490	.872*	0.490
	Sig.	0.385	0.155	0.498	0.006		0.000	0.162	0.162	0.162	0.162	0.012	0.162
^D Sarc.	Y	-0.243	-0.648	-0.052	.976**	.979**	1	0.301	-0.301	-0.301	0.301	.954**	0.301
	Sig.	0.322	0.082	0.461	0.000	0.000		0.281	0.281	0.281	0.281	0.002	0.281
^E AA	Y	0.316	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1	-1**	-1**	1**	0.000	1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281		0.000	0.000	0.000	0.500	0.000
^E AC	Y	-0.316	-0.416	-0.209	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1	1**	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000		0.000	0.000	0.500	0.000
^E ATart.	Y	-0.316	-0.416	-0.209	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1**	1	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000		0.000	0.500	0.000
^E AM	Y	0.316	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1	0.000	1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000		0.500	0.000
^D AT	Y	-0.354	-0.810*	-0.121	.996**	.872*	.954**	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.000
	Sig.	0.245	0.025	0.410	0.000	0.012	0.002	0.500	0.500	0.500	0.500		0.500
^E AOT	Y	0.316	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1**	0.000	1
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de quercetina/100 g PS. ^D Expresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^E Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS

Fuente: Propia

Aunque, no se observaron correlaciones directas entre los niveles de glucosa capilar y las variables químicas cuantificados en el minuto 30, tanto de la CTGO (Figura 8) como del ABC de la CTGO (Figura 9), es importante destacar que el conjunto de estas variables podría haber desempeñado un papel en la reducción de la glucosa en sangre.

Figura 9. Correlaciones del ABC vs perfil químico de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D Gluc.	^D Fruct.	^D Sarc.	^E AA	^E AC	^E ATart.	^E AM	^D AT	^E AOT
^A GC	Y	1	0.308	0.009	-0.440	-0.315	-0.384	0.170	-0.170	-0.170	0.170	-0.457	0.171
	Sig.		0.276	0.493	0.191	0.272	0.226	0.373	0.373	0.373	0.373	0.181	0.373
^B CPT	Y	0.308	1	-0.087	-0.771*	-0.503	-0.648	0.416	-0.416	-0.416	0.416	-0.810*	0.416
	Sig.	0.276		0.435	0.036	0.155	0.082	0.206	0.206	0.206	0.206	0.025	0.206
^C FT	Y	0.009	-0.087	1	-0.102	-0.003	-0.052	0.209	-0.209	-0.209	0.209	-0.121	0.209
	Sig.	0.493	0.435		0.424	0.498	0.461	0.345	0.345	0.345	0.345	0.410	0.345
^D Gluc.	Y	-0.440	-0.771*	-0.102	1	.912**	.976**	0.088	-0.088	-0.088	0.088	.996**	0.088
	Sig.	0.191	0.036	0.424		0.006	0.000	0.434	0.434	0.434	0.434	0.000	0.434
^D Fruct.	Y	-0.315	-0.503	-0.003	.912**	1	.979**	0.490	-0.490	-0.490	0.490	.872*	0.490
	Sig.	0.272	0.155	0.498	0.006		0.000	0.162	0.162	0.162	0.162	0.012	0.162
^D Sarc.	Y	-0.384	-0.648	-0.052	.976**	.979**	1	0.301	-0.301	-0.301	0.301	.954**	0.301
	Sig.	0.226	0.082	0.461	0.000	0.000		0.281	0.281	0.281	0.281	0.002	0.281
^E AA	Y	0.170	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1	-1**	-1**	1**	0.000	1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281		0.000	0.000	0.000	0.500	0.000
^E AC	Y	-0.170	-0.416	-0.209	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1	1**	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000		0.000	0.000	0.500	0.000
^E ATart.	Y	-0.170	-0.416	-0.209	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1**	1	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000		0.000	0.500	0.000
^E AM	Y	0.170	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1	0.000	1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000		0.500	0.000
^D AT	Y	-0.457	-0.810*	-0.121	.996**	.872*	.954**	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.000
	Sig.	0.181	0.025	0.410	0.000	0.012	0.002	0.500	0.500	0.500	0.500		0.500
^E AOT	Y	0.171	0.416	0.209	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1**	0.000	1
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de quercetina/100 g PS. ^DExpresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^E Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS

Fuente: Propia

Los puntos que se destacan en relación con el perfil químico de la C-II indica una menor presencia de azúcares en comparación con la P-I. Sin embargo, es relevante señalar

que la C-II presentó una mayor presencia de ácidos orgánicos totales en comparación con la P-I, siendo (como se comentó anteriormente) el ácido ascórbico (vitamina C) el más predominante.

La vitamina C tiene un valor significativo en el contexto farmacológico, ya que diversos estudios han demostrado su potencial para proteger macromoléculas, como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos, contra el daño oxidativo. Esta propiedad antioxidante podría estar contribuyendo a la disminución de los niveles de glucosa en sangre (Ashor *et al.*, 2017).

En lo que respecta a la presencia de polifenoles y flavonoides totales, estos metabolitos han sido objeto de una amplia investigación debido a sus propiedades sensoriales y diversos efectos terapéuticos en enfermedades crónicas como la DM.

En el caso de la pulpa en el estado inmaduro (P-I), la dosis de 100 mg/kg, en el minuto 30, se encontraron en la CTGO las siguientes correlaciones (Figura 10):

Figura 10. Correlaciones de la CTGO vs perfil químico de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D Gluc.	^D Fruct.	^D Sarc.	^E AA	^E AC	^E ATart.	^E AM	^D AT	^E AOT
^A GC	Y	1	0.422	0.081	0.729	-0.484	.755*	0.724	.947**	.945**	0.394	0.305	.951**
	Sig.		0.202	0.440	0.050	0.166	0.041	0.052	0.002	0.002	0.220	0.278	0.002
^B CPT	Y	0.422	1	0.060	-0.284	-.964**	-0.242	.870*	0.292	0.481	-0.658	-0.727	0.383
	Sig.	0.202		0.455	0.293	0.001	0.322	0.012	0.287	0.167	0.078	0.051	0.227
^C FT	Y	0.081	0.060	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sig.	0.440	0.455		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
^D Gluc.	Y	0.729	-0.284	0.000	1	0.163	.999**	0.167	.825*	0.687	.902**	.854*	.764*
	Sig.	0.050	0.293	0.500		0.379	0.000	0.376	0.022	0.066	0.007	0.015	0.038
^D Fruct.	Y	-0.484	-.964**	0.000	0.163	1	0.119	-.946**	-0.424	-0.604	0.573	0.652	-0.51
	Sig.	0.166	0.001	0.500	0.379		0.411	0.002	0.201	0.102	0.118	0.080	0.150
^D Sarc.	Y	.755*	-0.242	0.000	.999**	0.119	1	0.211	.849*	0.719	.882**	.830*	.792*
	Sig.	0.041	0.322	0.500	0.000	0.411		0.344	0.016	0.054	0.010	0.020	0.030
^E AA	Y	0.724	.870*	0.000	0.167	-.946**	0.211	1	0.695	.831*	-0.275	-0.370	.763*
	Sig.	0.052	0.012	0.500	0.376	0.002	0.344		0.063	0.020	0.299	0.235	0.039
^E AC	Y	.947**	0.292	0.000	.825*	-0.424	.849*	0.695	1	.978**	0.500	0.410	.995**
	Sig.	0.002	0.287	0.500	0.022	0.201	0.016	0.063		0.000	0.156	0.210	0.000
^E ATart.	Y	.945**	0.481	0.000	0.687	-0.604	0.719	.831*	.978**	1	0.307	0.209	.994**
	Sig.	0.002	0.167	0.500	0.066	0.102	0.054	0.020	0.000		0.277	0.345	0.000
^E AM	Y	0.394	-0.658	0.000	.902**	0.573	.882**	-0.275	0.500	0.307	1	.995**	0.412
	Sig.	0.220	0.078	0.500	0.007	0.118	0.010	0.299	0.156	0.277		0.000	0.209
^D AT	Y	0.305	-0.727	0.000	.854*	0.652	.830*	-0.370	0.410	0.209	.995**	1	0.318
	Sig.	0.278	0.051	0.500	0.015	0.080	0.020	0.235	0.210	0.345	0.000		0.270
^E AOT	Y	.951**	0.383	0.000	.764*	-0.511	.792*	.763*	.995**	.994**	0.412	0.318	1
	Sig.	0.002	0.227	0.500	0.038	0.150	0.030	0.039	0.000	0.000	0.209	0.270	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de quercetina/100 g PS. ^DExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^DExpresad en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^E Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

Al contrario de la C-II, en la P-I, es importante el equilibrio entre los azúcares y los ácidos orgánicos, debido a que influyen en el sabor y en la percepción sensorial (Reichel *et al.*, 2010). Por consiguiente, el valor óptimo del índice de madurez (SST/AT) para un fruto maduro puede variar entre 30-45 y 18-29, para ser considerado como aceptable para su

consumo. En este trabajo no se menciona el valor de índice de madurez, pero en el trabajo previo se puede constatar que el fruto no cumple con los valores, por lo que se le considera como inmaduro y no apto para su consumo por su alto nivel de acidez. Sin embargo, presentó una disminución significativa de los niveles de glucosa en sangre, por ello se realizaron las correspondientes correlaciones entre los resultados previamente examinados y presentados en los apartados 6.4 y 6.5

Es relevante destacar que se han observado correlaciones significativas entre ciertos azúcares (sacarosa), ácidos orgánicos específicos (cítrico y tartárico) y los niveles de glucosa capilar obtenidos en la CTGO en el minuto 30, tras la administración de la dosis de 100 mg/kg. Aunque la composición de azúcares es inferior en comparación con la encontrada en la pulpa en el estado de madurez destinada para exportación (P-II), se puede observar que uno de los monosacáridos con mayor presencia fue la sacarosa, la cual está compuesta por glucosa y fructosa. Esto es relevante, porque la fructosa, además de ser un azúcar reductor, es también el azúcar con mayor poder endulzante (aprox. 1.7 mayor que el de la sacarosa). Este aspecto es benéfico para las personas diabéticas, dado que no implica un aumento significativo en la ingesta calórica, dado que la fructosa se absorbe con menos rapidez y causa menos fluctuaciones de la secreción de insulina (Wang *et al.*, 2006).

Asimismo, Wang *et al.* (2006) destacaron que el contenido de azúcares puede variar significativamente entre diferentes frutos e incluso entre cultivares de la misma especie. Esta variabilidad también influiría en el contenido de ácidos orgánicos. Por ejemplo, si hay mayor presencia de monosacáridos, habría una mayor presencia de ácido ascórbico (vitamina C), como se discutió previamente, estaría contribuyendo a su actividad antioxidante. Además, dependiendo la composición de azúcares estaría asociada con la activación de ciertas enzimas claves de la regulación glucémica.

Finalmente, cuando se analizaron los datos del área bajo la curva de la CTGO de la P-I, se encontraron las siguientes correlaciones (Figura 11):

Figura 11. Correlaciones del ABC vs perfil químico de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D Gluc.	^D Fruct.	^D Sarc.	^E AA	^E AC	^E ATart.	^E AM	^D AT	^E AOT
^A GC	Y	1	.732*	-0.243	0.371	-.807*	0.409	.929**	.803*	.893**	-0.045	-0.141	.850*
	Sig.		0.049	0.321	0.235	0.026	0.210	0.004	0.027	0.008	0.467	0.395	0.016
^B CPT	Y	.732*	1	0.060	-0.284	-.964**	-0.242	.870*	0.292	0.481	-0.658	-0.727	0.383
	Sig.	0.049		0.455	0.293	0.001	0.322	0.012	0.287	0.167	0.078	0.051	0.227
^C FT	Y	-0.243	0.060	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sig.	0.321	0.455		0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
^D Gluc.	Y	0.371	-0.284	0.000	1	0.163	.999**	0.167	.825*	0.687	.902**	.854*	.764*
	Sig.	0.235	0.293	0.500		0.379	0.000	0.376	0.022	0.066	0.007	0.015	0.038
^D Fruct.	Y	-.807*	-.964**	0.000	0.163	1	0.119	-.946**	-0.424	-0.604	0.573	0.652	-0.511
	Sig.	0.026	0.001	0.500	0.379		0.411	0.002	0.201	0.102	0.118	0.080	0.150
^D Sarc.	Y	0.409	-0.242	0.000	.999**	0.119	1	0.211	.849*	0.719	.882**	.830*	.792*
	Sig.	0.210	0.322	0.500	0.000	0.411		0.344	0.016	0.054	0.010	0.020	0.030
^E AA	Y	.929**	.870*	0.000	0.167	-.946**	0.211	1	0.695	.831*	-0.275	-0.370	.763*
	Sig.	0.004	0.012	0.500	0.376	0.002	0.344		0.063	0.020	0.299	0.235	0.039
^E AC	Y	.803*	0.292	0.000	.825*	-0.424	.849*	0.695	1	.978**	0.500	0.410	.995**
	Sig.	0.027	0.287	0.500	0.022	0.201	0.016	0.063		0.000	0.156	0.210	0.000
^E ATart.	Y	.893**	0.481	0.000	0.687	-0.604	0.719	.831*	.978**	1	0.307	0.209	.994**
	Sig.	0.008	0.167	0.500	0.066	0.102	0.054	0.020	0.000		0.277	0.345	0.000
^E AM	Y	-0.045	-0.658	0.000	.902**	0.573	.882**	-0.275	0.500	0.307	1	.995**	0.412
	Sig.	0.467	0.078	0.500	0.007	0.118	0.010	0.299	0.156	0.277		0.000	0.209
^D AT	Y	-0.141	-0.727	0.000	.854*	0.652	.830*	-0.370	0.410	0.209	.995**	1	0.318
	Sig.	0.395	0.051	0.500	0.015	0.080	0.020	0.235	0.210	0.345	0.000		0.270
^E AOT	Y	.850*	0.383	0.000	.764*	-0.511	.792*	.763*	.995**	.994**	0.412	0.318	1
	Sig.	0.016	0.227	0.500	0.038	0.150	0.030	0.039	0.000	0.000	0.209	0.270	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de quercetina/100 g PS. ^D Expresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^E Expresad en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^E Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

Al realizar las correlaciones de las variables cuantificadas con los niveles de glucosa capilar en el tiempo total de la CTGO, se identificaron, correlaciones significativas con el contenido total de los polifenoles totales, fructosa y ácidos orgánicos específicos, además de correlaciones significativas entre el contenido de flavonoides totales y la capacidad antioxidante, evaluada por el método ABTS.

Como se puede observar, en ambos análisis correlacionales (Figuras 10 y 11), los polifenoles incluyendo a los flavonoides, contribuyen en la regulación de la glucemia. La discrepancia entre la actividad antioxidante medida en el presente estudio y lo discutido por diversos autores, podría atribuirse a la diversidad que existe entre las diferentes estructuras químicas de los compuestos analizados. Es muy posible que los resultados, dependan de diversas variables, como la configuración espacial, el grado y posición de glicosilación, así como el tipo de azúcar esterificada que presenten, por ejemplo, en los flavonoides, ya que todo influye en su actividad antioxidante (Wolfe and Liu, 2008).

Aunque, en frutos de litchi cultivados en México, no se ha determinado la presencia de hipoglicinas, en otras investigaciones se les ha asociado con la muerte de cientos niños indios (en Muzaffarpur, principal zona productora de litchi), debido a encefalopatía hipoglucémica aguda generada por consumo de litchi inmaduro (Shrivastava *et al.*, 2017).

Sin embargo, Spencer and Palmer (2017) afirmaron que se les atribuyó inequívocamente la culpa a los frutos de litchi por no haberse contemplado factores como la dosis, estado de nutrición y susceptibilidad a agentes tóxicos en el estudio *in vivo* de Shrivastava *et al.* (2017).

Más tarde, Asthana *et al.* (2019) confirmaron el contenido de aminoácidos neurotóxicos (metilenciclopropil-alanina-MCPA o hipoglicina A y su homólogo α -metilenciclopropil-glicina) en el fruto, donde actúan inhibiendo la gluconeogénesis y la β -oxidación de ácidos grasos lo que, aunado a un bajo peso corporal, puede ocasionar hipoglucemia que se regula con la ingesta de glucosa, destacando que pueden ser aprovechados como posibles agentes hipoglucemiantes.

Parte III. Capacidad antioxidante y efecto antihiper glucemiante

En el análisis correlacional de la capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante de la C-II tanto en la CTGO (Figura 12):

Figura 12. Correlaciones del CTGO vs capacidad antioxidante de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^D ABTS	^D DPPH
^A GC	Y	1	-0.545	0.241
	Sig.		0.132	0.323

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral)
Abreviaturas: Y (Coeficiente de Pearson), GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^B Expresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS.

Fuente: Propia

Como el ABC (Figura 13), demostró que, aunque no se observaron correlaciones directas con los niveles de glucosa capilar, es importante destacar que se observó una correlación significativa entre el contenido de flavonoides totales y la actividad antioxidante, evaluada a través del método ABTS (ANEXO 11.1A y 11.1B).

Figura 13. Correlaciones del ABC vs capacidad antioxidante de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^D ABTS	^D DPPH
^A GC	Y	1	-0.142	0.462
	Sig.		0.394	0.178

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^B Expresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS.

Fuente: Propia

Es relevante recordar que el método ABTS se utiliza para medir la capacidad de los metabolitos para neutralizar radicales libres (RL), por medio de la transferencia de electrones acoplados a protones dependientes de las condiciones de pH y solvente. Los compuestos que este método puede detectar son principalmente aquellos que poseen propiedades tanto

hidrofílicas como lipofílicas. Esta característica es de gran importancia, ya que les permite atravesar membranas celulares y distribuirse en el organismo de manera eficiente. De esta forma, estos compuestos se vuelven biodisponibles y funcionales, contribuyendo a procesos metabólicos y fisiológicos de relevancia (Martínez González *et al.*, 2017).

Al comparar los resultados con los otros autores, puede corroborarse que el contenido tanto de polifenoles y flavonoides totales, dependen del fruto que se esté analizando (Chel Guerrero *et al.*, 2018; Cervantes Arista *et al.*, 2020); así como en el caso del litchi de la variedad y el estado de madurez del fruto (Li *et al.*, 2012; Reichel *et al.*, 2010).

Otros autores, como Duan *et al.* (2007) identificaron que las antocianinas de la cáscara de litchi cv. Huaizhi, son fuertes inhibidores de la oxidación del ácido linoleico. Estas antocianinas exhibieron un poder reductor al actuar como donadoras de electrones, cuya eficacia fue dependiente de la dosis administrada, su evaluación fue medida por el método DPPH. Además, su estudio reveló una correlación significativa en la actividad antioxidante tanto de las antocianinas como del ácido ascórbico (vitamina C). Sin embargo, destacaron que las antocianinas fueron las que mostraron la actividad depuradora más fuerte, con una inhibición del 91.3% a una dosis de 50 µg/mL.

Por otro lado, Li *et al.* (2012) afirmaron que el contenido de polifenoles no está influenciado por el cultivar estudiado, sino que depende en mayor medida por las condiciones ambientales, proceso de postcosecha y los métodos de extracción que se utilicen. Esta observación es de gran importancia, ya que los autores también identificaron correlaciones significativas (≈ 0.72) entre el contenido de polifenoles, flavonoides totales y la actividad antioxidante evaluada mediante el método ORAC y mediante el método DPPH (-0.65).

Además, de estos estudios, también se encontró que la administración de procianidinas oligoméricas de tipo A fue capaz de mejorar la homeostasis de la glucosa al inhibir la producción de glucosa en el hígado, regulando la expresión de proteínas involucradas en el transporte de la glucosa y el aumento de glucólisis. Aunque los autores no mencionaron correlaciones, éste es un aporte importante para el descubrimiento de los posibles mecanismos de regulación glucémica (Li *et al.*, 2016).

Por otro lado, a pesar de que la pulpa inmadura de los frutos de litchi registró un contenido de polifenoles y flavonoides totales menor en comparación con los encontrados en la C-II (datos mostrados en la Tabla 6, del análisis del apartado 6.4) y aun cuando no se identificaron correlaciones significativas entre el contenido de polifenoles y flavonoides y los niveles de glucosa capilar (ANEXO 11.2A y 11.2B), si se encontraron correlaciones significativas entre el contenido de flavonoides y la actividad antioxidante evaluada por el método ABTS. En la actividad antioxidante medida por el método DPPH, sin embargo, los valores no fueron estadísticamente significativos (Figuras 14 y 15).

Figura 14. Correlaciones del CTGO vs capacidad antioxidante de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^D ABTS	^D DPPH
^A GC	Y	1	0.432	0.373
	Sig.		0.196	0.233

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS.

Fuente: Propia

Figura 15. Correlaciones del ABC vs capacidad antioxidante de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^D ABTS	^D DPPH
^A GC	Y	1	0.673	0.546
	Sig.		0.071	0.131

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de Pearson), GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS.

Fuente: Propia

Cabe mencionar que las investigaciones realizadas por Zhang *et al.* (2013) evidenciaron correlaciones positivas entre la actividad antioxidante medidas tanto por el método DPPH y FRAP, con el contenido de polifenoles y flavonoides. Además, descubrieron que la rutina era el compuesto predominante y sugirieron que los polifenoles ligados tienen

la capacidad de liberarse de manera lenta y continua en el tracto gastrointestinal inferior gracias a la acción simultánea de las β glucosidasas y estereasas presentes en el microbiota intestinal.

Otro punto que destacar, acerca de la contribución del contenido de polifenoles a la regulación glucémica, es el encontrado por Su *et al.* (2014): aunque en sus investigaciones detectaron la presencia de rutina en la pulpa de frutos de litchi, encontraron también otros compuestos como quercetina 3-*O*-rutonosido-7-*O*- α -L-ramanósido, quercetina 3-*O*-rutonosido y (-)-epicatequina, los cuales presentaron una mayor capacidad antioxidante que la rutina.

Su *et al.* (2014) analizaron la capacidad antioxidante por medio de los métodos de ORAC y AAC (actividad antioxidante celular). Este último, es un método que contempla la biodisponibilidad, absorción y metabolismo que podrían estar exhibiendo los polifenoles. Asimismo, Lv *et al.* (2014) también encontraron correlaciones significativas entre la capacidad antioxidante y el contenido total de fenoles, flavonoides y procianidinas.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió establecer asociaciones significativas entre el perfil químico cuantificado, la capacidad antioxidante y el efecto antihiper glucemiante de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster cultivados en México, específicamente en la pulpa en estado de madurez inmaduro (P-I) y la cáscara en estado de madurez destinado para exportación (C-II). Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada, al demostrar que el efecto antihiper glucemiante observado no puede atribuirse a un solo metabolito, sino al balance global y específico de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos presentes en cada matriz.

La pulpa inmadura (P-I) mostró un efecto antihiper glucemiante asociado principalmente a su perfil de azúcares simples y ácidos orgánicos, lo cual sugiere que la reducción glucémica observada podría estar relacionada con una modulación de la absorción intestinal de glucosa y con mecanismos metabólicos tempranos posteriores a la carga oral. Por su parte, la cáscara en estado de madurez para exportación (C-II) presentó una asociación relevante entre su elevado contenido de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante, lo que apunta a una posible interacción entre el control del estrés oxidativo y la regulación glucémica.

El análisis correlacional permitió evidenciar que la capacidad antioxidante, determinada por los métodos ABTS y DPPH, se relaciona de manera diferenciada con el efecto antihiper glucemiante dependiendo de la matriz analizada, lo que refuerza la importancia de considerar la complejidad química del fruto y evitar interpretaciones reduccionistas basadas en metabolitos individuales. Estos hallazgos concuerdan con reportes previos que señalan que los efectos biológicos de matrices vegetales complejas responden a interacciones sinérgicas entre diversos compuestos bioactivos.

Desde una perspectiva biotecnológica, este estudio aporta evidencia experimental que respalda el aprovechamiento de fracciones del fruto de litchi tradicionalmente consideradas como desecho, particularmente la cáscara, como una fuente potencial de compuestos con

actividad biológica relevante. Asimismo, el enfoque correlacional empleado constituye una herramienta útil para la identificación de relaciones funcionales entre perfiles químicos y respuestas biológicas, contribuyendo al diseño racional de futuros estudios orientados al desarrollo de fitofármacos o ingredientes funcionales para el manejo de la hiperglucemia.

Finalmente, se reconoce que los resultados obtenidos corresponden a un modelo experimental agudo y que las asociaciones observadas no implican causalidad directa. Sin embargo, este trabajo sienta las bases para investigaciones posteriores que profundicen en estudios mecanísticos, modelos crónicos y evaluaciones clínicas, con el fin de validar el potencial terapéutico de los frutos de *Litchi chinensis* Sonn. cv. Brewster como coadyuvantes en el control glucémico.

CAPÍTULO 9. PERSPECTIVAS

A continuación, se enlistarán las propuestas para futuras investigaciones, tanto para la C-II como para la P-I:

- ❖ Investigar los métodos de extracción de los compuestos, dado que, dependiendo del tipo de solvente y metodología, influirá en el contenido, y en última instancia en la capacidad para regular la glucosa en sangre
- ❖ Estudiar la actividad antioxidante, realizando un estudio comparativo sobre la utilización de diferentes métodos y su relación con la regulación glucémica
- ❖ Explorar mecanismos precisos a través de los cuales los compuestos como el ácido ascórbico, flavonoides y procianidinas podrían estar influyendo en la regulación glucémica
- ❖ Evaluar las posibles interacciones sinérgicas o antagonistas entre los compuestos químicos presentes y su efecto antihiperglucemiante
- ❖ Evaluar la biodisponibilidad y el metabolismo de los compuestos químicos del litchi para la comprensión de su absorción y distribución en el organismo
- ❖ Realizar estudios para evaluar si el consumo regular de litchi en cualquiera de sus estados de madurez provoca, un efecto sostenido en la regulación de la glucosa y si puede traducirse en beneficios a largo plazo para las personas con diabetes mellitus

Estas perspectivas de investigación contribuirán a la ampliación del conocimiento sobre el litchi y su influencia en la regulación de la glucosa en sangre, lo cual implicara contribuciones a la prevención y tratamiento de la diabetes mellitus.

CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

American Diabetes Association Professional Practice Committee; 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: *Standards of Medical Care in Diabetes-2022*. *Diabetes Care*, 45(1), S17–S38. Doi:10.2337/dc22-S002

Aguas Atlahua A., García Pérez E., Ruiz Rosado O., and Trinidad Santos A. (2014). Fruit Quality of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) produced in Veracruz State, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 373–380. ISSN 0187-7380

Alfonso Figueredo E., Reyes Sanamé F.A., Pérez Álvarez M.L., Batista Acosta Y., and Peña Garcell, Y. (2016). Inhibitors of dipeptidil peptidase 4 new pharmacologic strategic in the diabetes mellitus type 2. *Revista Cubana de Medicina*, 55(3), 239-256. ISSN 1561-302X

Aarland Clarenc R., Bañuelos Hernández AE., Fragosa Serrano M., *et al.* (2017). Studies on phytochemical, antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic and antiproliferative activities of *Echinacea purpurea* and *Echinacea angustifolia* extracts. *Pharmaceutical Biology*, 55:549-656 DOI: 10.1080/13880209.2016.1265989

Ashor A. W., Werner A. D., Lara J., Willis N. D., Mathers J. C., and Siervo M. (2017). Effects of vitamin C supplementation on glycemic control: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(12), 1371–1380. Doi:10.1038/EJCN.2017.24

Asthana S., Dixit S., Srivastava A., Kumar A., Singh S. P., Tripathi A., and Das M. (2019). Methylenecyclopropyl glycine, not pesticide exposure as the primary

etiological factor underlying hypoglycemic encephalopathy in Muzaffarpur, India. *Toxicology Letters*, 301, 34–41. Doi: 10.1016/J.TOXLET.2018.10.033

CEDRSSA. (2019). MÉXICO TRIPLICA LA EXPORTACIÓN DE LITCHI. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451512/Abril__litchi__2019.pdf

Chel Guerrero L. D., Sauri Duch E., Fragoso Serrano M. C., Pérez Flores L. J., Gómez Olivares J. L., Salinas Arreortua N., Sierra Palacios E. C., and Mendoza Espinoza J. A. (2018). Phytochemical Profile, Toxicity, and Pharmacological Potential of Peels from Four Species of Tropical Fruits. *Journal Medicinal Food*. 21(7), 734–743. Doi: 10.1089/JMF.2017.0124

Cárdenas Baquero G., Arrazola Paternina G., Villalba Cadavid M. (2016). Tropical fruits: Source of natural bioactive compounds in the food industry. *Ingenium* Doi: 10.21500/01247492.2152

Can Cauich C.A., Sauri Duch E., Betancur Ancona D., Chel Guerrero L., González Aguilar G.A., Cuevas Glory L.F., Pérez Pacheco E., and Moo Huchin V., (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 37: 501-506. Doi: 10.1016/j.jff.2017.08.028

Cervantes Arista, C., Román Guerrero A., Oidor Chan V. H., Díaz de León F., Álvarez Ramírez E. L., Pelayo Zaldívar C., Sierra Palacios E. C., and Mendoza Espinoza J. A. (2020). Chemical characterization, antioxidant capacity, and anti-hyperglycemic effect of *Stenocereus stellatus* fruits from the arid Mixteca Baja region of Mexico. *Food Chemistry*, 328, 127076. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2020.127076

Contreras Castro A. I. (2019). Anti-hyperglycemic Effect of lychee fruits variety Brewster [Maestría]. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

Duan X., Jiang Y., Su X., Zhang Z., and Shi J. (2007). Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chemistry*, 101(4), 1365–1371. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2005.06.057

Gomis R. (2008). Inhibidores de las disacaridasas. *Endocrinología y Nutrición*, 55(2), 13–16. Doi: 10.1016/S1575-0922(08)76258-2

Gómez Covarrubias S.I., Rivera Cabrera F., Mendoza Gastelum J.L., Oidor Chan V.H., Cruz Soza F., Díaz de León Sánchez F. and Mendoza Espinoza J.A. (2020). Effect of pasteurization on chemical and functional properties of xoconostle (*Opuntia joconostle*) juice. *Journal Food Quality and Hazards Control*, 7:11-17. Doi:10.18502/jfqhc.7.1.2447

Ibrahim S. R. M., and Mohamed G. A. (2015). *Litchi chinensis*: Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 174, 492–513. Doi: 10.1016/j.jep.2015.08.054

Izu G. O., Mashele S. S., and Chukwuma C. I. (2024). Investigating the Phytochemistry and Underlying Glycemic Control Mechanisms of Litchi *chinensis* Sonn. (litchi) Peel Ethyl Acetate Extract in a Fructose/Streptozotocin Diabetic Model of Rats. *Nutrients*, 16(21), 3644. Doi: 10.3390/nu16213644

International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels, Belgium: 2021 Available at: <https://www.diabetesatlas.org>

Jiang G., Lin S., Wen L., Jiang Y., Zhao M., Chen F., Prasad K. N., Duan X., and Yang B. (2013). Identification of a novel phenolic compound in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp and bioactivity evaluation. *Food Chemistry*, 136(2), 563–568. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2012.08.089

Jordan E. (2014). Characteristic and types of GLP-1 receptor. An opportunity for individualized therapy. *Medicina Clínica*, 143(2), 12–17. Doi: 10.1016/S0025-7753(14)70103-4

Kong F., Zhang M., Liao S., Yu S., Chi J., and Wei Z. (2010). Antioxidant activity of polysaccharide-enriched fractions extracted from pulp tissue of *litchi chinensis* Sonn. *Molecules*, 15(4), 2152–2165. Doi: 10.3390/molecules15042152

Lee S. J., Park W. H., Park S. D., and Moon H. I. (2009). Aldose reductase inhibitors from *Litchi chinensis* Sonn. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 24(4), 957–959. Doi: 10.1080/14756360802560867

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. Doi: 10.3390/molecules171214954

Li X., Sui Y., Li S., Xie B., and Sun Z. (2016). A-type procyanidins from litchi pericarp ameliorate hyperglycemia by regulating hepatic and muscle glucose metabolism in streptozotocin (STZ)-induced diabetic mice fed with high fat diet. *Journal of Functional Foods*, 27, 711–722. Doi: 10.1016/J.JFF.2016.08.010

Lim T. K. (2013a). *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Vol. 6, Fruits. In *Litchi chinensis* (pp. 45–58). Springer Netherlands. Doi:10.1007/978-94-007-5628-1

Lim T. K. (2013b). *Edible medicinal and non-medicinal plants*. Vol. 6, Fruits. In *Blighia sapida* (pp. 4–14). Springer Netherlands. Doi:10.1007/978-94-007-5628-1

Liu L., Xie B., Cao S., Yang E., Xu X., and Guo S. (2007). A-type procyanidins from *Litchi chinensis* pericarp with antioxidant activity. *Food Chemistry*, 105(4), 1446–1451. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2007.05.022

Lv Q., Si M., Yan Y., Luo F., Hu G., Wu H., Sun C., Li X., and 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. Doi: 10.1016/j.jff.2013.12.023

Man S., Ma J., Wang C., Li Y., Gao W., and Lu F. (2016). Chemical composition and hypoglycemic effect of polyphenol extracts from *Litchi chinensis* seeds. *Journal of Functional Foods*, 22, 313–324. Doi: 10.1016/J.JFF.2016.01.032

Martínez González J. C., Balois Morales R., Alia Tejacal I., Cortes Cruz M. A., Palomino Hermosillo Y. A., and López Gúzman G. G. (2017). Postharvest fruits: maturation and biochemical changes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075–4087. Doi: 10.29312/remexca.v0i19.674

Mauricio D. (2013). Inhibidores SGLT-2: de la corteza del manzano y la glucosuria familiar al tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2. *Medicina Clínica*, 141(2), 31–35. Doi: 10.1016/S0025-7753(13)70061-7

Nair V.M. and Roopalatha U.C. (2013). Phytochemical analysis of successive reextracts of the leaves of *Moringa oleifera* Lam. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5:629-634. ISSN- 0975-1491

NOM-051-SCFI/SSA1. (2010). Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria. *Norma Oficial Mexicana*.

https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4010/seeco11_C/seeco11_C.htm

NOM-062-ZOO. (1999). Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. *Norma Oficial Mexicana*.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf

OECD. (2023). *Health at a Glance 2023 OECD INDICATORS*. OECD Publishing, París. 18–21. Doi: 10.1787/7a7afb35-en

OMS. (2018). Alimentación sana. Organización Mundial de La Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Ortiz Lasa, M., González Castro A., and Peñasco Martín Y. (2017). Acidosis láctica asociada (o inducida por) metformina. *Medicina Clínica*, 149(9), 415–416. Doi: 10.1016/J.MEDCLI.2017.07.009

Pallardo Sánchez L. F. (2008). Sulfonilureas en el tratamiento del paciente con diabetes mellitus tipo 2. *Endocrinología y Nutrición*, 55(2), 17–25. Doi: 10.1016/S1575-0922(08)76259-4

Patti A. M., Al-Rasadi K., Giglio R. V., Nikolic D., Mannina C., Castellino G., Chianetta, R., Banach M., Cicero A. F. G., Lippi G., Montalto G., Rizzo M., and Toth

P. P. (2018). Natural approaches in metabolic syndrome management. *Archives of Medical Science*, 14(2), 422–441. Doi: 10.5114/AOMS.2017.68717

Reichel M., Carle R., Sruamsiri P., and Neidhart S. (2010). Influence of harvest maturity on quality and shelf-life of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.). *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 162–175. Doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.04.005

Ren S., Xu D., Pan Z., Gao Y., Jiang Z., and Gao Q. (2011). Two flavanone compounds from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seeds, one previously unreported, and appraisal of their α -glucosidase inhibitory activities. *Food Chemistry*, 127(4), 1760–1763. Doi: 10.1016/j.foodchem.2011.02.054

Rena G., Hardie D. G., and Pearson E. R. (2017). The mechanisms of action of metformin. *Diabetologia*, 60(9), 1577. Doi: 10.1007/S00125-017-4342-Z

Rodríguez Rivera N. S., Cuautle Rodríguez P., and Molina Guarneros J. A. (2017). Hipoglucemiantes orales para el tratamiento de diabetes mellitus tipo 2: uso y regulación en México. *Revista Hospital Juárez de México*, 84(4), 203–211. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=76314>

Shrivastava A., Kumar A., Thomas J. D., Laserson K. F., Bhushan G., Carter M. D., Chhabra M., Mittal V. *et al.* (2017). Association of acute toxic encephalopathy with litchi consumption in an outbreak in Muzaffarpur, India, 2014: a case-control study. *The Lancet Global Health*, 5(4), E458–E466. Doi: 10.1016/S2214-109X(17)30035-9

SIACON. (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. *Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta*. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

Spencer P. S., and Palmer V. S. (2017). The enigma of litchi toxicity: an emerging health concern in southern Asia. *The Lancet Global Health*. 5(4), E383–E384. Doi: 10.1016/S2214-109X(17)30046-3

Su D., Ti H., Zhang R., Zhang M., Wei Z., Deng Y., and Guo J. (2014). Structural elucidation and cellular antioxidant activity evaluation of major antioxidant phenolics in lychee pulp. *Food Chemistry*, 158, 385–391. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2014.02.134

Wang H. C., Huang H. B., Huang X. M., and Hu Z. Q. (2006). Sugar and acid compositions in the arils of *Litchi chinensis* Sonn.: cultivar differences and evidence for the absence of succinic acid. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1), 57–62. Doi: 10.1080/14620316.2006.11512029

Wang L., Lou G., Ma Z., and Liu X. (2011). Chemical constituents with antioxidant activities from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seeds. *Food Chemistry*, 126(3), 1081–1087. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2010.11.133

Wolfe K. L., and Liu R. H. (2008). Structure Activity Relationships of Flavonoids in the Cellular Antioxidant Activity Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8404–8411. Doi: 10.1021/JF8013074

Wu J., Xu Y., Liu X., Chen M., Zhu B., Wang H., Shi S., Qin L., and Wang S. (2020). Isolation and structural characterization of a non-competitive α -glucosidase inhibitory polysaccharide from the seeds of *Litchi chinensis* Sonn. *International*

Journal of Biological Macromolecules, 154, 1105–1115. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.170

Xiong R., Wang X. L., Wu J. M., Tang Y., Qiu W. Q., Shen X., Teng J. F., Pan R., Zhao Y., Yu L., Liu J., Chen H. X., Qin D. L., Yu C. L., and Wu A. G. (2020). Polyphenols isolated from lychee seed inhibit Alzheimer's disease-associated Tau through improving insulin resistance via the IRS-1/PI3K/Akt/GSK-3 β pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 251, 112548. Doi: 10.1016/J.JEP.2020.112548

Yang B., Wang J., Zhao M., Liu Y., Wang W., and Jiang Y. (2006). Identification of polysaccharides from pericarp tissues of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit in relation to their antioxidant activities. *Carbohydrate Research*, 341(5), 634–638. Doi: 10.1016/J.CARRES.2006.01.004

Yang Z., Zhang L., Liu J., and Li D. (2024). Litchi Pericarp Extract Treats Type 2 Diabetes Mellitus by Regulating Oxidative Stress, Inflammatory Response, and Energy Metabolism. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 13(4), 495. Doi: 10.3390/antiox13040495

Zhang R., Zeng Q., Deng Y., Zhang M., Wei Z., Zhang Y., and Tang X. (2013). Phenolic profiles and antioxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1169–1176. Doi: 10.1016/j.foodchem.2012.09.085

Zhu X. R., Wang H., Sun J., Yang B., Duan X.W., and Jiang Y. M. (2019). Pericarp and seed of litchi and longan fruits: constituent, extraction, bioactive activity, and potential utilization. *Journal of Zhejiang University: SCIENCE B*, 20, 503–512. Doi: 10.1631/jzus.B1900161

CAPÍTULO 11. ANEXOS

11. 1A Integración correlacional de la CTGO de C-II

Figura 16. Integración del análisis correlacional de la CTGO de la cáscara exportación a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D ABTS	^D DPPH	^E Gluc.	^E Fruct.	^E Sarc.	^F AA	^F AC	^F ATart.	^F AM	^E AT	^F AOT
^A GC	Y	1	0.477	-0.338	-0.545	0.241	-0.325	-0.154	-0.243	0.316	-0.316	-0.316	0.316	-0.354	0.316
	Sig.		0.169	0.256	0.132	0.323	0.265	0.385	0.322	0.271	0.271	0.271	0.271	0.245	0.271
^B CPT	Y	0.477	1	-0.087	-0.386	0.569	-.771*	-0.503	-0.648	0.416	-0.416	-0.416	0.416	-.810*	0.416
	Sig.	0.169		0.435	0.225	0.119	0.036	0.155	0.082	0.206	0.206	0.206	0.206	0.025	0.206
^C FT	Y	-0.338	-0.087	1	.938**	0.668	-0.102	-0.003	-0.052	0.209	-0.209	-0.209	0.209	-0.121	0.209
	Sig.	0.256	0.435		0.003	0.074	0.424	0.498	0.461	0.345	0.345	0.345	0.345	0.410	0.345
^D ABTS	Y	-0.545	-0.386	.938**	1	0.430	0.074	0.052	0.064	-0.031	0.031	0.031	-0.031	0.077	-0.031
	Sig.	0.132	0.225	0.003		0.197	0.445	0.461	0.452	0.477	0.477	0.477	0.477	0.443	0.477
^D DPPH	Y	0.241	0.569	0.668	0.430	1	-0.604	-0.302	-0.459	0.549	-0.549	-0.549	0.549	-0.655	0.549
	Sig.	0.323	0.119	0.074	0.197		0.102	0.281	0.180	0.129	0.129	0.129	0.129	0.079	0.129
^E Gluc.	Y	-0.325	-.771*	-0.102	0.074	-0.604	1	.912**	.976**	0.088	-0.088	-0.088	0.088	.996**	0.088
	Sig.	0.265	0.036	0.424	0.445	0.102		0.006	0.000	0.434	0.434	0.434	0.434	0.000	0.434
^E Fruct.	Y	-0.154	-0.503	-0.003	0.052	-0.302	.912**	1	.979**	0.490	-0.490	-0.490	0.490	.872*	0.490
	Sig.	0.385	0.155	0.498	0.461	0.281	0.006		0.000	0.162	0.162	0.162	0.162	0.012	0.162
^E Sarc.	Y	-0.243	-0.648	-0.052	0.064	-0.459	.976**	.979**	1	0.301	-0.301	-0.301	0.301	.954**	0.301
	Sig.	0.322	0.082	0.461	0.452	0.180	0.000	0.000		0.281	0.281	0.281	0.281	0.002	0.281
^F AA	Y	0.316	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1	-1**	-1**	1**	0.000	1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281		0.000	0.000	0.000	0.500	0.000
^F AC	Y	-0.316	-0.416	-0.209	0.031	-0.549	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1	1**	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000		0.000	0.000	0.500	0.000
^F ATart.	Y	-0.316	-0.416	-0.209	0.031	-0.549	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1**	1	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000		0.000	0.500	0.000
^F AM	Y	0.316	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1	0.000	1**
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000		0.500	0.000
^E AT	Y	-0.354	-.810*	-0.121	0.077	-0.655	.996**	.872*	.954**	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.000
	Sig.	0.245	0.025	0.410	0.443	0.079	0.000	0.012	0.002	0.500	0.500	0.500	0.500		0.500
^F AOT	Y	0.316	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1**	0.000	1
	Sig.	0.271	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de correlación de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de Quercetina/100 g PS. ^DExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^E Expresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^F Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

11. 1B Integración correlacional del ABC de C-II

Figura 17. Integración del análisis correlacional del ABC de la cáscara de exportación a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D ABTS	^D DPPH	^E Gluc.	^E Fruct.	^E Sarc.	^F AA	^F AC	^F ATart.	^F AM	^E AT	^F AOT
^A GC	Y	1	0.308	0.009	-0.142	0.462	-0.440	-0.315	-0.384	0.170	-0.170	-0.170	0.170	-0.457	0.171
	Sig.		0.276	0.493	0.394	0.178	0.191	0.272	0.226	0.373	0.373	0.373	0.373	0.181	0.373
^B CPT	Y	0.308	1	-0.087	-0.386	0.569	-0.771*	-0.503	-0.648	0.416	-0.416	-0.416	0.416	-0.810*	0.416
	Sig.	0.276		0.435	0.225	0.119	0.036	0.155	0.082	0.206	0.206	0.206	0.206	0.025	0.206
^C FT	Y	0.009	-0.087	1	.938**	0.668	-0.102	-0.003	-0.052	0.209	-0.209	-0.209	0.209	-0.121	0.209
	Sig.	0.493	0.435		0.003	0.074	0.424	0.498	0.461	0.345	0.345	0.345	0.345	0.410	0.345
^D ABTS	Y	-0.142	-0.386	.938**	1	0.430	0.074	0.052	0.064	-0.031	0.031	0.031	-0.031	0.077	-0.031
	Sig.	0.394	0.225	0.003		0.197	0.445	0.461	0.452	0.477	0.477	0.477	0.477	0.443	0.477
^D DPPH	Y	0.462	0.569	0.668	0.430	1	-0.604	-0.302	-0.459	0.549	-0.549	-0.549	0.549	-0.655	0.549
	Sig.	0.178	0.119	0.074	0.197		0.102	0.281	0.180	0.129	0.129	0.129	0.129	0.079	0.129
^E Gluc.	Y	-0.440	-0.771*	-0.102	0.074	-0.604	1	.912**	.976**	0.088	-0.088	-0.088	0.088	.996**	0.088
	Sig.	0.191	0.036	0.424	0.445	0.102		0.006	0.000	0.434	0.434	0.434	0.434	0.000	0.434
^E Fruct.	Y	-0.315	-0.503	-0.003	0.052	-0.302	.912**	1	.979**	0.490	-0.490	-0.490	0.490	.872*	0.490
	Sig.	0.272	0.155	0.498	0.461	0.281	0.006		0.000	0.162	0.162	0.162	0.162	0.012	0.162
^E Sarc.	Y	-0.384	-0.648	-0.052	0.064	-0.459	.976**	.979**	1	0.301	-0.301	-0.301	0.301	.954**	0.301
	Sig.	0.226	0.082	0.461	0.452	0.180	0.000	0.000		0.281	0.281	0.281	0.281	0.002	0.281
^F AA	Y	0.170	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1	-1**	-1**	1**	0.000	1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281		0.000	0.000	0.000	0.500	0.000
^F AC	Y	-0.170	-0.416	-0.209	0.031	-0.549	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1	1**	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000		0.000	0.000	0.500	0.000
^F ATart.	Y	-0.170	-0.416	-0.209	0.031	-0.549	-0.088	-0.490	-0.301	-1**	1**	1	-1**	0.000	-1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000		0.000	0.500	0.000
^F AM	Y	0.170	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1	0.000	1**
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000		0.500	0.000
^E AT	Y	-0.457	-0.810*	-0.121	0.077	-0.655	.996**	.872*	.954**	0.000	0.000	0.000	0.000	1	0.000
	Sig.	0.181	0.025	0.410	0.443	0.079	0.000	0.012	0.002	0.500	0.500	0.500	0.500		0.500
^F AOT	Y	0.171	0.416	0.209	-0.031	0.549	0.088	0.490	0.301	1**	-1**	-1**	1**	0.000	1
	Sig.	0.373	0.206	0.345	0.477	0.129	0.434	0.162	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de correlación de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de Quercetina/100 g PS. ^DExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^EExpresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^F Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

11. 2A Integración correlacional de la CTGO de P-I

Figura 18. Integración del análisis correlacional de la CTGO de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg en el minuto 30

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D ABTS	^D DPPH	^E Gluc.	^E Fruct.	^E Sarc.	^F AA	^F AC	^F ATart.	^F AM	^E AT	^F AOT
^A GC	Y	1	0.422	0.081	0.432	0.373	0.729	-0.484	.755*	0.724	.947**	.945**	0.394	0.305	.951**
	Sig.		0.202	0.440	0.196	0.233	0.050	0.166	0.041	0.052	0.002	0.002	0.220	0.278	0.002
^B CPT	Y	0.422	1	0.060	0.206	0.157	-0.284	-.964**	-0.242	.870*	0.292	0.481	-0.658	-0.727	0.383
	Sig.	0.202		0.455	0.348	0.383	0.293	0.001	0.322	0.012	0.287	0.167	0.078	0.051	0.227
^C FT	Y	0.081	0.060	1	-.759*	-0.368	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sig.	0.440	0.455		0.040	0.236	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
^D ABTS	Y	0.432	0.206	-.759*	1	0.672	0.414	-0.353	0.433	0.490	0.583	0.595	0.190	0.132	0.592
	Sig.	0.196	0.348	0.040		0.072	0.207	0.246	0.196	0.162	0.112	0.107	0.359	0.401	0.108
^D DPPH	Y	0.373	0.157	-0.368	0.672	1	0.357	-0.404	0.377	0.521	0.559	0.585	0.120	0.061	0.575
	Sig.	0.233	0.383	0.236	0.072		0.244	0.214	0.230	0.145	0.124	0.111	0.410	0.454	0.116
^E Gluc.	Y	0.729	-0.284	0.000	0.414	0.357	1	0.163	.999**	0.167	.825*	0.687	.902**	.854*	.764*
	Sig.	0.050	0.293	0.500	0.207	0.244		0.379	0.000	0.376	0.022	0.066	0.007	0.015	0.038
^E Fruct.	Y	-0.484	-.964**	0.000	-0.353	-0.404	0.163	1	0.119	-.946**	-0.424	-0.604	0.573	0.652	-0.51
	Sig.	0.166	0.001	0.500	0.246	0.214	0.379		0.411	0.002	0.201	0.102	0.118	0.080	0.150
^E Sarc.	Y	.755*	-0.242	0.000	0.433	0.377	.999**	0.119	1	0.211	.849*	0.719	.882**	.830*	.792*
	Sig.	0.041	0.322	0.500	0.196	0.230	0.000	0.411		0.344	0.016	0.054	0.010	0.020	0.030
^F AA	Y	0.724	.870*	0.000	0.490	0.521	0.167	-.946**	0.211	1	0.695	.831*	-0.275	-0.370	.763*
	Sig.	0.052	0.012	0.500	0.162	0.145	0.376	0.002	0.344		0.063	0.020	0.299	0.235	0.039
^F AC	Y	.947**	0.292	0.000	0.583	0.559	.825*	-0.424	.849*	0.695	1	.978**	0.500	0.410	.995**
	Sig.	0.002	0.287	0.500	0.112	0.124	0.022	0.201	0.016	0.063		0.000	0.156	0.210	0.000
^F ATart.	Y	.945**	0.481	0.000	0.595	0.585	0.687	-0.604	0.719	.831*	.978**	1	0.307	0.209	.994**
	Sig.	0.002	0.167	0.500	0.107	0.111	0.066	0.102	0.054	0.020	0.000		0.277	0.345	0.000
^F AM	Y	0.394	-0.658	0.000	0.190	0.120	.902**	0.573	.882**	-0.275	0.500	0.307	1	.995**	0.412
	Sig.	0.220	0.078	0.500	0.359	0.410	0.007	0.118	0.010	0.299	0.156	0.277		0.000	0.209
^E AT	Y	0.305	-0.727	0.000	0.132	0.061	.854*	0.652	.830*	-0.370	0.410	0.209	.995**	1	0.318
	Sig.	0.278	0.051	0.500	0.401	0.454	0.015	0.080	0.020	0.235	0.210	0.345	0.000		0.270
^F AOT	Y	.951**	0.383	0.000	0.592	0.575	.764*	-0.511	.792*	.763*	.995**	.994**	0.412	0.318	1
	Sig.	0.002	0.227	0.500	0.108	0.116	0.038	0.150	0.030	0.039	0.000	0.000	0.209	0.270	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); * La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de correlación de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de Quercetina/100 g PS. ^DExpresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^EExpresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^F Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

11. 2B Integración correlacional del ABC de P-I

Figura 19. Integración del análisis correlacional del ABC de la pulpa inmadura a dosis de 100 mg/kg

		^A GC	^B CPT	^C FT	^D ABTS	^D DPPH	^E Gluc.	^E Fruct.	^E Sarc.	^F AA	^F AC	^F ATart.	^F AM	^E AT	^F AOT
^A GC	Y	1	.732*	-0.243	0.673	0.546	0.371	-.807*	0.409	.929**	.803*	.893**	-0.045	-0.141	.850*
	Sig.		0.049	0.321	0.071	0.131	0.235	0.026	0.210	0.004	0.027	0.008	0.467	0.395	0.016
^B CPT	Y	.732*	1	0.060	0.206	0.157	-0.284	-.964**	-0.242	.870*	0.292	0.481	-0.658	-0.727	0.383
	Sig.	0.049		0.455	0.348	0.383	0.293	0.001	0.322	0.012	0.287	0.167	0.078	0.051	0.227
^C FT	Y	-0.243	0.060	1	-.759*	-0.368	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sig.	0.321	0.455		0.040	0.236	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
^D ABTS	Y	0.673	0.206	-.759*	1	0.672	0.414	-0.353	0.433	0.490	0.583	0.595	0.190	0.132	0.592
	Sig.	0.071	0.348	0.040		0.072	0.207	0.246	0.196	0.162	0.112	0.107	0.359	0.401	0.108
^D DPPH	Y	0.546	0.157	-0.368	0.672	1	0.357	-0.404	0.377	0.521	0.559	0.585	0.120	0.061	0.575
	Sig.	0.131	0.383	0.236	0.072		0.244	0.214	0.230	0.145	0.124	0.111	0.410	0.454	0.116
^E Gluc.	Y	0.371	-0.284	0.000	0.414	0.357	1	0.163	.999**	0.167	.825*	0.687	.902**	.854*	.764*
	Sig.	0.235	0.293	0.500	0.207	0.244		0.379	0.000	0.376	0.022	0.066	0.007	0.015	0.038
^E Fruct.	Y	-.807*	-.964**	0.000	-0.353	-0.404	0.163	1	0.119	-.946**	-0.424	-0.604	0.573	0.652	-0.511
	Sig.	0.026	0.001	0.500	0.246	0.214	0.379		0.411	0.002	0.201	0.102	0.118	0.080	0.150
^E Sarc.	Y	0.409	-0.242	0.000	0.433	0.377	.999**	0.119	1	0.211	.849*	0.719	.882**	.830*	.792*
	Sig.	0.210	0.322	0.500	0.196	0.230	0.000	0.411		0.344	0.016	0.054	0.010	0.020	0.030
^F AA	Y	.929**	.870*	0.000	0.490	0.521	0.167	-.946**	0.211	1	0.695	.831*	-0.275	-0.370	.763*
	Sig.	0.004	0.012	0.500	0.162	0.145	0.376	0.002	0.344		0.063	0.020	0.299	0.235	0.039
^F AC	Y	.803*	0.292	0.000	0.583	0.559	.825*	-0.424	.849*	0.695	1	.978**	0.500	0.410	.995**
	Sig.	0.027	0.287	0.500	0.112	0.124	0.022	0.201	0.016	0.063		0.000	0.156	0.210	0.000
^F ATart.	Y	.893**	0.481	0.000	0.595	0.585	0.687	-0.604	0.719	.831*	.978**	1	0.307	0.209	.994**
	Sig.	0.008	0.167	0.500	0.107	0.111	0.066	0.102	0.054	0.020	0.000		0.277	0.345	0.000
^F AM	Y	-0.045	-0.658	0.000	0.190	0.120	.902**	0.573	.882**	-0.275	0.500	0.307	1	.995**	0.412
	Sig.	0.467	0.078	0.500	0.359	0.410	0.007	0.118	0.010	0.299	0.156	0.277		0.000	0.209
^E AT	Y	-0.141	-0.727	0.000	0.132	0.061	.854*	0.652	.830*	-0.370	0.410	0.209	.995**	1	0.318
	Sig.	0.395	0.051	0.500	0.401	0.454	0.015	0.080	0.020	0.235	0.210	0.345	0.000		0.270
^F AOT	Y	.850*	0.383	0.000	0.592	0.575	.764*	-0.511	.792*	.763*	.995**	.994**	0.412	0.318	1
	Sig.	0.016	0.227	0.500	0.108	0.116	0.038	0.150	0.030	0.039	0.000	0.000	0.209	0.270	

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (unilateral); *La correlación es significativa en el nivel 0.05 (unilateral) **Abreviaturas:** Y (Coeficiente de correlación de Pearson), CPT (Contenido polifenoles totales), FT (Flavonoides totales), AA (ácido ascórbico), AC (ácido cítrico), ATart. (ácido tartárico), AM (ácido málico), AOT (ácidos orgánicos totales), Gluc. (glucosa), Fruct. (fructosa), Sarc. (sacarosa), AT (azúcares totales) y GC (glucosa capilar, mg/dL). ^AGC expresada en mg/dL. ^BCPT expresados en g de ácido gálico/100 g PS. ^CFT expresados en g de Quercetina/100 g PS. ^D Expresado en mg de ácido ascórbico /100 g PS. ^E Expresado en g de cada azúcar determinada/100 g PS. ^F Expresado en mg de cada ácido determinado /100 g PS.

Fuente: Propia

11. 3 Artículo de divulgación científica

[Journal of Medicinal Food](#) > [Vol. 25, No. 1](#)

Research Article |  NO ACCESS | Published Online: 13 January 2022



Chemical Characterization and Evaluation of the Antihyperglycemic Effect of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) cv. Brewster


Authors: [Alexandra Ivette Contreras-Castro](#), [Víctor Hugo Oidor-Chan](#), [Patricia Bustamante-Camilo](#), [Clara Pelayo-Zaldívar](#), [Fernando Díaz de León-Sánchez](#)  , and [José Alberto Mendoza-Espinoza](#)   | [AUTHORS INFO & AFFILIATIONS](#)

Publication: *Journal of Medicinal Food* • <https://doi.org/10.1089/jmf.2021.0098>

 240 / 13

 [Permissions & Citations](#)



 [GET ACCESS](#)

Abstract

Lychee is a fruit of Asian origin with an exquisite flavor and an attractive reddish color. However, according to recent reports, the consumption of this fruit reduces the levels of blood glucose with adverse effects on human health such as encephalopathy and hypoglycemic. The objective of this work was to determine if the peel, pulp, and seed of “Brewster” lychee fruits harvested at two stages of maturity had antihyperglycemic effect. This effect was determined by an oral glucose tolerance test using Wistar rats. In addition, ultraviolet-visible spectrophotometry and high-resolution liquid chromatography were used to quantify phenolic compounds, flavonoids, organic acids (OAs), sugars, and antioxidant activity. Results indicated that stage I pulp (immature fruits) and stage II peel and seed (export mature fruits) reduced blood glucose levels, and the effects of the former two were synergistic with metformin. The pulp of mature fruits (stage II), however, lacked a hypoglycemic effect. Additionally, the peel and the seeds of these fruits presented a high antioxidant activity (as determined by DPPH [2,2-diphenyl-2-picryl-hydracyl] and ABTS⁺ [2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid] methods), which correlated well with the total content of phenolic compounds. The highest content of polyphenolics, flavonoids, and OAs was found in the extracts of the peel and seeds of both stages of maturity. It was therefore concluded that “Brewster” mature lychees are safe for human consumption, and both the seed and the peel can be useful sources for obtaining new compounds with antihyperglycemic activity.

CAPÍTULO 12. TRABAJOS PRESENTADOS EN EVENTOS ESPECIALIZADOS

2021

XLII Encuentro Nacional. Desafíos actuales en la investigación y docencia en ingeniería química. Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ); 8 al 11 de septiembre

- ❖ Efecto Antihiper glucemiante por administración de liofilizados de cáscara de frutas tropicales

IX Simposio de Perspectivas en Biotecnología, 5 de noviembre

- ❖ Correlación entre polifenoles totales y efecto farmacológico de litchi *cv.* Brewster

XXVI Simposio del Departamento de Ciencias de la Salud, 6 al 10 de diciembre

- ❖ Correlación de Ácidos Orgánicos y Efecto Antihiper glucemiante de la pulpa de Litchi *cv.* Brewster

2022

XI Simposio de perspectivas en biotecnología 6 y 7 de julio

- ❖ Trabajo de Investigación: Microtécnicas para determinación de polifenoles y capacidad antioxidante en cáscara de naranja (*Citrus sinensis* 'VALENCIA')
- ❖ Trabajo de Divulgación: Beneficios de los antioxidantes provenientes de la cáscara de litchi.

2023

XLIV Encuentro Nacional. Desafíos actuales en la investigación y docencia en ingeniería química. Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ); 30 mayo al 2 de junio

- ❖ Capacidad Antioxidante y Efecto Antihiper glucemiante de Liofilizado De Semilla De Litchi *cv.* Brewster



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE DISERTACIÓN PÚBLICA

No. 00501

Matrícula: 2173801782

Estudio de las asociaciones entre los componentes químicos, efecto antihiper glucemiante y capacidad antioxidante de los frutos de litchi cv. Brewster.

En la Ciudad de Mexico, se presentaron a las 18:00 horas del día 29 del mes de enero del año 2026 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. FRANCISCO JOSE FERNANDEZ PERRINO
DR. VICTOR HUGO OIDOR CHAN
DRA. ADDY LETICIA ZARZA GARCIA
DR. FERNANDO RIVERA CABRERA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron a la presentación de la Disertación Pública cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

DOCTORA EN BIOTECNOLOGÍA

DE: ALEXANDRA IVETTE CONTRERAS CASTRO

y de acuerdo con el artículo 78 fracción IV del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



ALEXANDRA IVETTE CONTRERAS CASTRO
ALUMNA



REVISÓ
MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES



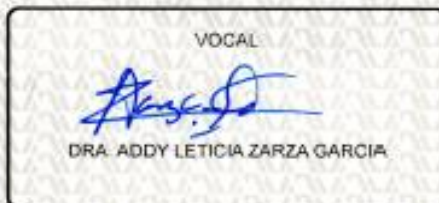
DIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE CBS
DRA. EDITH ARENAS RIOS



PRESIDENTE
DR. FRANCISCO JOSE FERNANDEZ PERRINO



VOCAL
DR. VICTOR HUGO OIDOR CHAN



VOCAL
DRA. ADDY LETICIA ZARZA GARCIA



SECRETARIO
DR. FERNANDO RIVERA CABRERA