

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE MEDICINA MEXICALI
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**



**“DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE RESIDUOS DE
TOMATE PARA LA FORMULACIÓN DE ALIMENTOS FUNCIONALES”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOMEDICINA

PRESENTA
L.N. JULIO CESAR ARMENTA GOROSAVE

DIRECTORA DE TESIS
DRA. VIANEY MENDEZ TRUJILLO

CO DIRECTOR DE TESIS
DR. DANIEL GONZALEZ MENDOZA

Mexicali, Baja California

Diciembre 2022

Carta de Dictamen de la Evaluación Escrita del Examen de Grado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE MEDICINA MEXICALI
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE DICTAMEN DE LA EVALUACIÓN DE LA FASE ESCRITA DE LA TESIS

Mexicali, B.C, a 9 de noviembre de 2022.

Los abajo firmantes miembros del Jurado Dictaminador del trabajo de tesis titulado "Determinación de compuestos bioactivos de residuos de tomate para la formulación de alimentos funcionales.", que, para obtener el Diploma de **Grado en Maestría en Ciencias en Biomedicina**, presenta el C. Julio Cesar Armenta Gorosave, una vez concluida la evaluación correspondiente, hemos resuelto aprobado por unanimidad.



Dra. Vianey Méndez Trujillo
Presidente



Dr. Daniel González Mendoza
Secretario



Dra. Daniela Gpe. González
Valencia
Sinodal



Dr. Carlos Olvera Sandoval
Sinodal

Agradecimientos

Al ver la trayectoria recorrida y los resultados obtenidos durante el curso de este programa de maestría en tiempos tan inciertos solo puedo pensar, en una palabra: ¡Gracias!

Gracias a mi familia por su apoyo y comprensión durante esta etapa.

Gracias Doctora Vianey por todo el apoyo, la amabilidad, la paciencia y comprensión durante estos años de maestría. Por hacerme creer en momentos de duda e impulsarme más allá de lo que pensé que era capaz. Su compromiso y dedicación son admirables pues sin su asesoría en incontables temas este trabajo no hubiera sido posible, ni tampoco el crecimiento profesional y académico que experimenté durante el posgrado.

Gracias Doctor Daniel por abrirme las puertas de su laboratorio y compartir sus conocimientos y experiencia en el área de investigación. Le agradezco por cada lección y observación que proporcionó durante este trabajo pues fueron sumamente enriquecedores.

Doctora Daniela y Doctor Olvera mi gratitud está con ustedes por el tiempo y la dedicación, el consejo y las enseñanzas que brindaron en el curso de la maestría y elaboración de este documento.

Agradezco a Erick y Enrique mis compañeros de laboratorio por el apoyo durante los experimentos y las anécdotas que compartimos.

Finalmente me gustaría agradecer a todos mis profesores del programa de maestría por los conocimientos impartidos en las asignaturas y las observaciones que contribuyeron a pulir este documento.

De todo corazón, ¡gracias!

Dedicatoria

Agradezco a la vida por brindarme la familia que tengo, por la salud y la felicidad que viene de ellos.

A mis abuelos, aunque, no se encuentren ya en esta vida, su legado ha trascendido varias generaciones y su amor y enseñanzas siguen vivas en mis recuerdos.

A mis padres les agradezco por el inconmensurable amor que he recibido de ustedes desde que nací, sin duda alguna les puedo decir que son mi fortaleza y mi refugio, pues siempre que se presenta un nuevo reto o etapa en mi vida sé que cuento con su apoyo en todo aspecto y gracias a ello he podido llegar hasta aquí y a pesar de estar orgulloso de este logro, tengo la certeza que me seguiré superando gracias al sustento que han provisto. ¡Los amo!

Abreviaturas

AN: Agar nutritivo

ATP: Adenosín trifosfato

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidracilo

ECNT'S: Enfermedades crónicas no transmisibles

ERO'S: Especies reactivas de oxígeno

FADH2: Flavín adenín dinucleótido

NADH: Nicotinamida adenina dinucleótida

NADPH: Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato

PDA: Papa dextrosa agar

PGA's: Productos de glicación avanzada

PKC: Protein kinasa C

CONTENIDO

CARTA DE DICTAMEN DE LA EVALUACIÓN ESCRITA DEL EXAMEN DE GRADO	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
SUMMARY	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Compuestos bioactivos	2
2.2. Clasificación de compuestos bioactivos	3
Polifenoles	4
Flavonoides	4
Flavonoles	4
Flavonas	5
Isoflavonoides.....	5
Flavanoles	5
Flavanonas	5
Antocianidinas	6
No flavonoides	6
Ácidos fenólicos.....	6
Estilbenos	7

Lignanos	7
Taninos	8
2.3. Los compuestos bioactivos en la salud humana	13
2.4. Alimentos funcionales.....	18
2.5. El tomate como alimento funcional	20
3. ANTECEDENTES	22
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
5. JUSTIFICACIÓN	26
6. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	31
6.1. Hipótesis nula.....	31
6.2. Hipótesis alterna.....	31
6.3. Objetivo general.....	31
6.4. Objetivos específicos	31
7. MATERIALES Y MÉTODOS	32
7.1. Diseño del estudio.....	32
7.2. Descripción de la población.....	32
7.3. Cálculo del tamaño de muestra.....	32
7.4. Criterios de selección	32
7.4.1. Criterios de inclusión.....	32
7.4.2. Criterios de exclusión.....	32
7.4.3. Criterios de eliminación.....	32
7.5. Variables	33
7.5.1. Variables dependientes	33
7.5.2. Variables independientes.....	33
7.5.3. Operacionalización de las variables.....	33

7.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
7.7. ASPECTOS ÉTICOS.....	33
7.8. METODOLOGÍA.....	34
7.8.1. Colecta y preparación de los residuos de tomate.....	35
7.8.2. Deshidratado de las muestras de tomate.....	35
7.8.3. Determinación de humedad	35
7.8.4. Extracción y determinación de fenoles totales	35
7.8.5. Determinación de licopeno y β -caroteno	36
7.8.6. Evaluación de la capacidad antioxidante total de los residuos de tomate ...	36
7.8.7. Extracción y determinación de azúcares reductores	37
7.8.8. Extracción y determinación de proteínas con el reactivo de Bradford.....	37
7.8.9. Determinación de cenizas	38
7.8.10. Evaluación de la vida de anaquel del polvo de tomate.....	38
7.8.11. Almacenamiento del polvo de tomate.....	38
7.8.12. Medición del pH.....	38
7.8.13. Medición de °Brix	39
7.8.14. Conteo de mesófilos aerobios	39
7.8.15. Conteo de mohos y levaduras.....	39
7.8.16. Evaluación sensorial.....	40
8. RESULTADOS	40
9. DISCUSIÓN	50
10. CONCLUSIONES.....	54
11. BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de compuestos bioactivos de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas.....	41
Tabla 2. Composición proximal de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas.....	43
Tabla 3. Calidad microbiológica de polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.	48
Tabla 4. Promedio del análisis sensorial de polvo de tomate durante 29 días de almacenamiento.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación y estructura de polifenoles.	9
Figura 2. Estructura general de los alcaloides.....	10
Figura 3. Clasificación y estructuras de carotenoides.	12
Figura 4. Modelo integrativo del mecanismo de inducción de las complicaciones de la hiperglicemia.	17
Figura 5. Diagrama metodológico.	34
Figura 6. Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de polvo de tomate.	44
Figura 7. Grados Brix de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas de secado.....	45
Figura 8. Comportamiento de grados Brix durante 50 días de almacenamiento del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas.....	46
Figura 9. Comportamiento de ph del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.	47
Figura 10. cultivos en PDA y AN de polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.	48
Figura 11. Juez no entrenado realizando evaluación sensorial de polvo de tomate.	49

Resumen

El tomate es la segunda hortaliza producida a nivel mundial y es ampliamente consumido por su versatilidad culinaria y su valor nutricional. Sin embargo, se puede perder hasta la mitad de su producción total a lo largo de toda la cadena de producción, los mercados locales tienen una contribución importante al desperdicio de tomate ya que este es susceptible al daño físico durante el transporte. Estos residuos representan una fuente de compuestos bioactivos, por lo que el tratamiento adecuado permite revalorizar los residuos de tomate. Por lo anterior, la materia prima que sirvió de base para este estudio fueron residuos de tomate recolectados en diferentes mercados de la ciudad de Mexicali, Baja California se deshidrataron a diferentes tiempos (24, 48 y 72 horas) y temperaturas (50, 60 y 70 °C) para obtener polvo de tomate. Se determinó la capacidad antioxidante, el contenido de compuestos polifenólicos y carotenoides, se cuantificaron azúcares reductores, proteínas, humedad y cenizas, con la finalidad de identificar el tratamiento que presentara mejor retención de compuestos bioactivos. Se encontró que el tratamiento térmico de 60°C durante 24 horas presentó la mayor capacidad antioxidante (50.79 ± 2.62 % de inhibición de DPPH), y de compuestos polifenólicos (48.12 ± 0.30 mg/g). Asimismo, se evaluó la estabilidad del pH, los °Brix y la calidad microbiológica durante 50 días de almacenamiento del polvo de tomate que recibió el tratamiento térmico de 60°C durante 24 horas; finalmente, se realizó un análisis sensorial para determinar la aceptabilidad del polvo de tomate. Los resultados obtenidos indican el tratamiento más adecuado para obtener un polvo de tomate que pueda ser utilizado como ingrediente en la formulación de alimentos funcionales.

Summary

Tomato is the second most produced vegetable worldwide and is widely consumed for its culinary versatility and nutritional value. However, up to half of its total production can be lost throughout the entire production chain, local markets have an important contribution to tomato waste since it is susceptible to physical damage during transport. This waste represents a source of bioactive compounds. Consequently, appropriate treatment allows revaluation of tomato waste. Therefore, the raw material that served as the basis for this study was tomato waste collected in different markets in the city of Mexicali, Baja California, dehydrated at different times (24, 48 and 72 hours) and temperatures (50, 60 and 70 °C) to obtain tomato powder. The antioxidant capacity, the content of polyphenolic compounds and carotenoids were determined, reducing sugars, proteins, humidity and ashes were quantified, in order to identify the treatment that presented the best retention of bioactive compounds. It was found that the thermal treatment of 60°C for 24 hours exhibited the highest antioxidant capacity ($50.79 \pm 2.62\%$ inhibition of DPPH), and of polyphenolic compounds (48.12 ± 0.30 mg/g). Likewise, the stability of the pH, the °Brix and the microbiological quality were evaluated during 50 days of storage of the tomato powder that received the thermal treatment of 60°C for 24 hours. Finally, a sensory analysis was carried out to determine the acceptability of the tomato powder. The results obtained indicate the most appropriate treatment to obtain a tomato powder that can be used as an ingredient in the formulation of functional foods.

1. Introducción

El tomate es un cultivo de importancia económica en México y en el mundo debido a su amplio y diverso uso en diferentes gastronomías (García-Estrada *et al.*, 2022). Este fruto es valorado debido a su color, sabor y aroma; además diversos estudios han reportado que el consumo de este alimento puede prevenir las enfermedades cardiovasculares (hipertensión arterial, infarto agudo al miocardio y evento cerebrovascular) (Rattanaivanon *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2019) y algunos tipos de cáncer (próstata, gástrico y colon) (Fraser *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021; Langner *et al.*, 2019). Estos efectos protectores se deben al contenido de compuestos bioactivos del tomate dentro de los cuales destacan el licopeno y los compuestos polifenólicos, los cuales, poseen actividad antioxidante resultando en una disminución del estrés oxidativo el cual es un fenómeno implicado en la fisiopatología de las enfermedades crónicas no transmisibles (Costa-Rodrigues *et al.*, 2018; Shah *et al.*, 2021).

Los productos derivados del tomate como purés y salsas son la principal manera en la que estos son consumidos. Sin embargo; esto genera grandes cantidades de residuos de tomate (Kiralán y Ketenoglu, 2022). La disposición de este residuo representa un reto logístico y económico para las empresas y cuando este residuo llega a los basureros se convierte en un problema ambiental (Cristóbal *et al.*, 2018). No obstante; diversos investigadores han identificado la oportunidad de revalorizar el residuo de tomate proveniente de plantas procesadoras para obtener materiales útiles en la industria alimentaria y cosmética (Faustino *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021).

El fruto del tomate también genera una gran cantidad de residuos debido a su delicadez y alto contenido en agua por lo que también se puede perder una gran cantidad del fruto durante su transporte, almacenamiento y venta en establecimientos, esta situación representa una nueva área de investigación ya que la mayoría de estudios se han enfocado en el residuo de tomate, por lo tanto, el residuo de fruto de tomate urbano tiene el potencial de ser utilizado como un ingrediente para alimentos funcionales por medio de un proceso adecuado de deshidratado (Cherono y Workneh, 2018; Chaboud y Moustier, 2021 y Bhatkar *et*

al., 2021). El presente trabajo identifica el mejor proceso tecnológico para generar un producto de valor agregado a partir de residuos de tomate que pueda ser utilizado en la formulación de alimentos funcionales en la ciudad de Mexicali, Baja California.

2. Marco Teórico

2.1. Compuestos bioactivos

Desde los inicios de la humanidad distintas comunidades alrededor del mundo han utilizado diversos remedios medicinales a partir de la flora y fauna encontrados en su entorno con la finalidad de proveer energía, vitalidad, así como para el tratamiento de enfermedades y el mejoramiento de la salud. Los papiros egipcios describen el uso del aceite de cilantro y de ricino para fines médicos, cosméticos y conservadores a través de miles de recetas; asimismo durante el periodo griego y romano varios eruditos describieron el uso terapéutico de algunas plantas herbales. El uso de estos remedios en la antigüedad en realidad ilustra la historia de los compuestos bioactivos, a pesar del desconocimiento de su existencia (*Azmir et al., 2013*).

Los compuestos bioactivos son moléculas de naturaleza química muy heterogénea que no poseen valor nutricional, están presentes naturalmente en pequeñas cantidades en los alimentos de origen vegetal, fúngico y animal o aquellos que han sido sometidos a algún proceso de fermentación y al ser consumidos en cantidades adecuadas ejercen efectos fisiológicos (*Galanakis, 2021*).

Estos compuestos pueden modular procesos metabólicos y ejercer efectos benéficos como poseer actividad antioxidante, inhibir la actividad de receptores celulares y modular el funcionamiento de algunas enzimas, por lo tanto, pueden promover la salud y prevenir enfermedades (*Mamo, 2016*). No obstante, es importante resaltar que algunos compuestos bioactivos pueden presentar efectos adversos como toxicidad, alergenicidad y mutagenicidad; sin embargo, estos efectos son dependientes en la dosis y la biodisponibilidad del compuesto (*Plumb et al., 2017*).

2.2. Clasificación de compuestos bioactivos

Todo ser vivo desde una célula bacteriana hasta millones de células vegetales metaboliza múltiples compuestos para su supervivencia y subsistencia, en este sentido, todos los compuestos de un sistema biológico determinado pueden ser clasificados en dos amplias clasificaciones: metabolitos primarios y metabolitos secundarios (Erb y Kliebenstein, 2020). Los metabolitos primarios son sustancias químicas cuyas funciones son el crecimiento y el desarrollo celular, dentro de esta categoría se encuentran los carbohidratos, lípidos, amino ácidos y proteínas; en segunda instancia se encuentran los metabolitos secundarios, los cuales son aquellos compuestos distintos a los metabolitos primarios que incrementan la posibilidad de supervivencia y adaptación al medio al permitirle al organismo interactuar con su entorno (Rico *et al.*, 2017).

Muchos alimentos de la dieta humana son de origen vegetal por ende los compuestos bioactivos presentes en estos son metabolitos secundarios los cuales se pueden dividir en tres categorías principales: compuestos fenólicos, alcaloides, terpenos y terpenoides, de los cuales se han reportado aproximadamente 8000, 12,000 y 25,000 compuestos respectivamente (Shoker, 2020). Existen cuatro rutas metabólicas principales para la síntesis de metabolitos secundarios: ruta metabólica del ácido shikímico, ácido malónico, ácido mevalónico y ruta metabólica del no mevalonato. Los alcaloides son producidos por aminoácidos aromáticos (proviene de la ruta metabólica del ácido shikímico) y por aminoácidos alifáticos (provenientes del ciclo de los ácidos tricarbónicos) (Sengupta y Bhattacharya, 2020). Los compuestos fenólicos se sintetizan a través de la vía del ácido shikímico y la vía del ácido malónico y los terpenos se producen a partir de la ruta metabólica del ácido mevalónico y la ruta metabólica del no mevalonato (Awuchi, 2019).

Polifenoles

Los polifenoles constituyen uno de los grupos de fitoquímicos del metabolismo secundario de las plantas más comunes y ubicuos en el reino vegetal (se pueden acumular en las hojas, frutas, raíces y tallos de las plantas) actualmente se han reportado más de 8000 estructuras fenólicas. Existen varias formas de clasificar a los polifenoles, incluido su origen, función biológica y estructura química, sin embargo, esta última es la más comúnmente empleada ya que divide a los polifenoles en dos grupos principales: flavonoides y no flavonoides (Durazzo *et al.*, 2019).

Flavonoides

Los flavonoides son muy abundantes en los alimentos de origen vegetal, como las frutas, verduras, chocolate, té, vino, entre otros. En general, estos compuestos comparten una estructura básica común de difenilpropanos (C6-C3-C6), que consta de dos anillos de benceno (anillos A y B) conectados por un puente de 3 carbonos, que generalmente forma un heterociclo oxigenado (anillo C). Basado en el patrón de hidroxilación y variaciones en el anillo heterocíclico, los flavonoides se pueden dividir en seis subclases principales que incluyen flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanoles, flavanonas y antocianidinas (Câmara *et al.*, 2021).

Flavonoles

Los flavonoles se caracterizan principalmente por la insaturación en su anillo heterocíclico (anillo C) entre los carbonos 2 y 3, poseen un grupo hidroxilo en el carbono 3, y la presencia de un grupo cetona en el carbono 4, estas características afectan en gran manera las propiedades redox de estas moléculas. La quercetina y el kaempferol son los compuestos fenólicos predominantes en esta clase seguidos de miricetina, isorhamnetina, fisetina, morina y sus derivados de glucósidos (Barreca *et al.*, 2021).

Flavonas

Las flavonas difieren de los flavonoles en cuanto a la ausencia del grupo hidroxilo en el carbono 3 del Anillo C, por lo tanto, poseen un doble enlace entre el carbono 2 y 3 de este mismo anillo. Los componentes principales de este grupo son apigenina y luteolina. Se pueden encontrar principalmente en sus formas de glucósidos (Hostetler *et al.*, 2017).

Isoflavonoides

Los isoflavonoides, como las isoflavonas, difieren de las otras clases de flavonoides porque el Anillo B está unido al anillo C en el carbono 3 en lugar del carbono 2. Las isoflavonas presentan una débil actividad estrogénica por lo que, en ocasiones, se denominan "fitoestrógenos". Estos flavonoides se encuentran casi exclusivamente en plantas leguminosas; la daidzeína y la genisteína de la soya, la biochanina-A del garbanzo y la formononetina del trébol rojo son las isoflavonas más relevantes en la salud humana (Bustamante-Rangel *et al.*, 2018).

Flavanoles

Los flavanoles o flavan-3-oles son otra clase importante de flavonoides que se caracterizan por la presencia de un anillo heterocíclico saturado y un grupo hidroxilo en su carbono 3, de ahí su nombre de flavan-3-oles. Los flavanoles existen en los alimentos tanto en forma de monómero (catequinas) como de polímero (proantocianidinas); los flavanoles no se encuentran glucosilados en los alimentos. La catequina y la epicatequina son los flavanoles predominantes en las frutas, mientras que la epigallocatequina, la galocatequina y el galato de epigallocatequina se encuentran principalmente en semillas, leguminosas, uvas, y en el té. (Martín y Ramos, 2021).

Flavanonas

Las flavanonas tienen un anillo heterocíclico saturado, como los flavanoles, pero con un grupo cetona en su carbono 4 y ningún grupo hidroxilo en su carbono 3. Estos flavonoides constituyen un grupo minoritario en los alimentos, sin embargo, están presentes en altas concentraciones en cítricos y tomates, y en menor cantidad en algunas hierbas aromáticas.

Las principales agliconas son el eriodictiol que se encuentra en los limones, la hesperedina en naranjas y naringenina en la toronja (Najmanová *et al.*, 2020).

Antocianidinas

Las antocianidinas y antocianinas son otro grupo importante de flavonoides que son responsables de los colores rojo, azul y púrpura de la mayoría de las flores, frutas, vegetales y ciertas variedades de cereales y tubérculos, como el arroz negro o camote morado. Los compuestos más comunes de este grupo son la cianidina, delphinidina, pelargonidina, peonidina, petunidina y malvidina (Celli *et al.*, 2019).

En términos de estructura química, las antocianidinas y las antocianinas son derivados polimetoxi o polihidroxi de la estructura general de los flavonoides, pero poseen una carga positiva en el átomo de oxígeno de su anillo heterocíclico (anillo C). Básicamente, las principales diferencias entre las antocianinas y las antocianidinas son: el número, la ubicación y la naturaleza de los azúcares unidos a la molécula; el número y tipo de ácidos aromáticos o alifáticos ligados al azúcar; la posición y número de grupos hidroxilo; y el grado de metilación de estos grupos (Khoo *et al.*, 2017).

No flavonoides

El esqueleto estructural de los polifenoles se caracteriza por contener varios grupos hidroxilo en sus anillos aromáticos, sin embargo, la estructura básica de los no flavonoides está compuesta por un solo anillo aromático. Los compuestos no flavonoides incluyen ácidos fenólicos, estilbenos y lignanos (Singla *et al.*, 2019).

Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos se encuentran en altas concentraciones en los alimentos de origen vegetal particularmente en semillas, piel de frutas y hojas de vegetales. Estos compuestos se caracterizan por contener por lo menos un ácido carboxílico unido a su anillo fenólico y se subdividen en dos grupos: ácido benzoico y el ácido cinámico, no obstante, existen predominantemente como ácido hidroxibenzoico e hidroxicinámico y se pueden encontrar en sus formas libres o conjugadas (Kumar y Goel, 2019).

Los ácidos hidroxibenzoicos son los compuestos fenólicos más simples ya que contienen siete átomos de carbono y poseen una estructura C6-C1. Estos ácidos se pueden estar presentes en los alimentos en su forma soluble, es decir, unido a azúcares o ácidos orgánicos o en su forma insoluble que se caracteriza por estar ligado a componentes de la membrana celular. Los ácidos hidroxibenzoicos más comunes son el ácido gálico, ácido salicílico, ácido elágico, ácido gentístico, ácido siríngico y el ácido vanílico (Rashmi y Negi, 2020). Los ácidos hidroxicinámicos se encuentran abundantemente en los alimentos, su estructura química contiene nueve carbonos y se caracterizan por una cadena C6-C3 y rara vez se encuentran en su forma libre en las plantas. Los principales ácidos hidroxicinámicos son el ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico y el ácido sinápico (Coman y Vodnar, 2020).

Estilbenos

Los estilbenos son un grupo de polifenoles cuya estructura básica está compuesta por dos compuestos aromáticos unidos por un puente de etileno (C6-C2-C6). Se han identificado más de 400 derivados de estilbeno. Sus estructuras van desde monómeros hasta octámeros y llevan varios sustituyentes en diferentes posiciones, como grupos glicosilo, hidroxilo, metilo o isopropilo. La presencia de estilbenos en la dieta humana se limita a unos pocos alimentos como las uvas, el vino tinto, los cacahuetes y algunos tipos de bayas. El estilbeno más conocido y mejor caracterizado es el resveratrol (El Khawand *et al.*, 2018).

Lignanós

Los lignanos se caracterizan estructuralmente por la combinación de dos unidades de fenilpropanoide conectadas en los átomos de carbono β y β' . Tienen una amplia presencia en la naturaleza y las principales fuentes de lignanos en la dieta son los cereales integrales (trigo, avena, centeno y cebada), las semillas oleaginosas (linaza, soya, ricino y ajonjolí), las frutas (bayas), las verduras y algunas bebidas, como el té, el café y el vino. Los lignanos dietéticos más

estudiados y reportados son el secoisolariciresinol, matairesinol, medioresinol, pinoresinol, lariciresinol y siringaresinol (Durazzo *et al.*, 2018).

Taninos

Los taninos se clasifican principalmente en dos grupos: taninos hidrolizables y taninos condensados, también conocidos como proantocianidinas. Los taninos hidrolizables están compuestos por ésteres de ácido fenólico y un poliol, generalmente glucosa, que se pueden agrupar en galotaninos y elagitaninos. Los taninos condensados son más abundantes en plantas en comparación con los taninos hidrolizables. Este subgrupo está compuesto de unidades monoméricas de flavan-3-oles unidas mediante enlaces carbono-carbono.

Las proantocianidinas compuestas por unidades catequina/epicatequina se conocen como procianidinas, las cuales son la forma más simple de las proantocianidinas (Farha *et al.*, 2020). Los taninos están ampliamente distribuidos en la dieta humana debido al consumo de comidas y bebidas de origen vegetal como las uvas rojas, el chocolate, el café, el vino tinto, el té y la cerveza y son responsables de la sensación astringente y el sabor amargo de estos alimentos (Soares *et al.*, 2020).

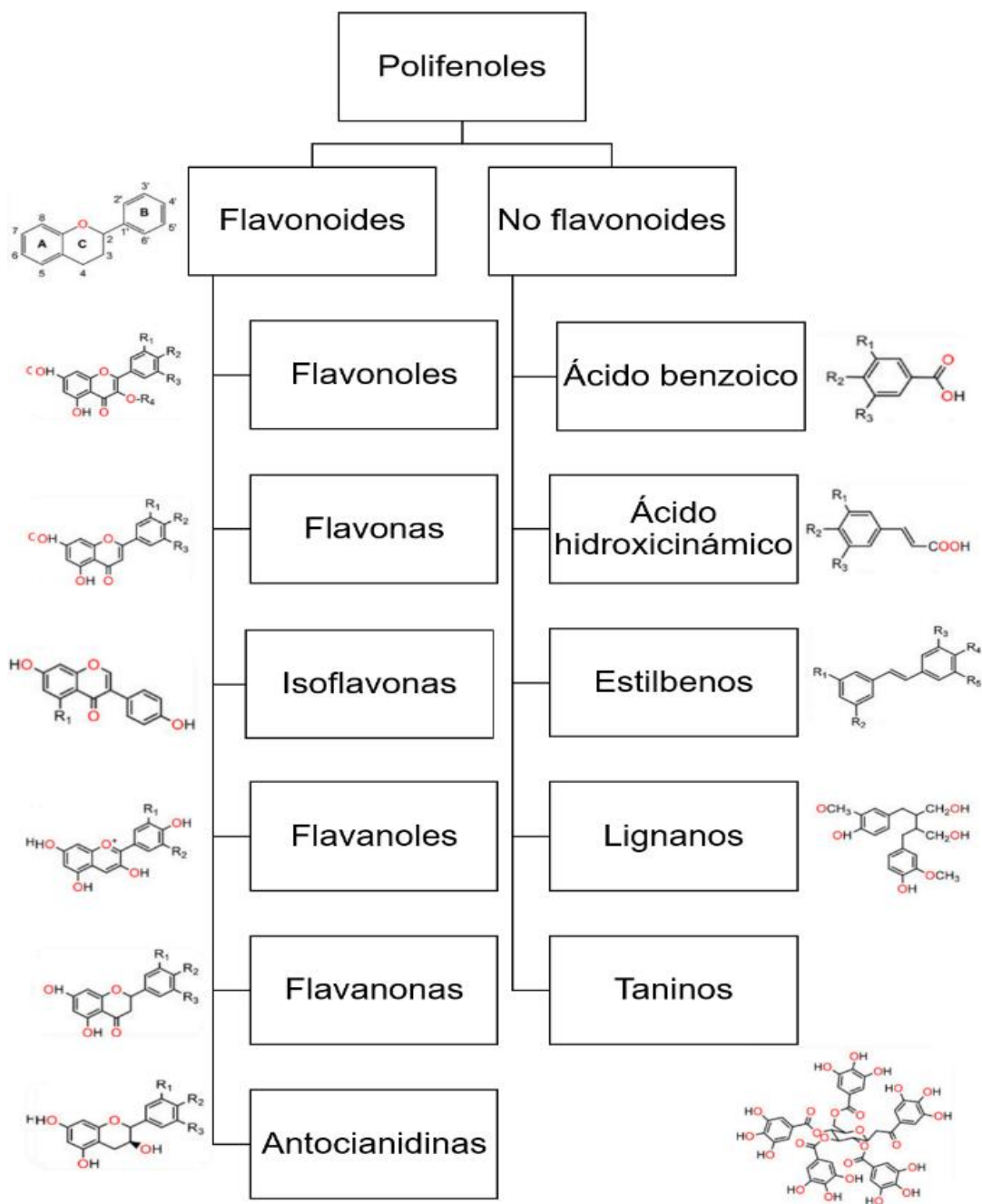


Figura 1. Clasificación y estructura de polifenoles.
 Adaptado de Cámara, *et al.*, 2020.

Alcaloides

Los alcaloides vegetales representan un grupo de moléculas estructuralmente diversas y biogénicamente no relacionadas que poseen potentes efectos farmacológicos. Su principal característica estructural es la presencia de uno o más átomos de nitrógeno dentro de un anillo heterocíclico. Aunque las plantas que contienen alcaloides han sido utilizadas por el ser humano como medicinas durante al menos 3000 años, estos compuestos no fueron aislados ni caracterizados hasta principios del siglo XIX (Bribi, 2018). Los alcaloides tienen relevancia en la medicina actual en forma de analgésicos narcóticos, como la morfina y codeína, apomorfina (un derivado de la morfina) utilizada en la enfermedad de Parkinson, el relajante muscular papaverina y los agentes antimicrobianos sanguinarina y berberina (Weina *et al.*, 2017).

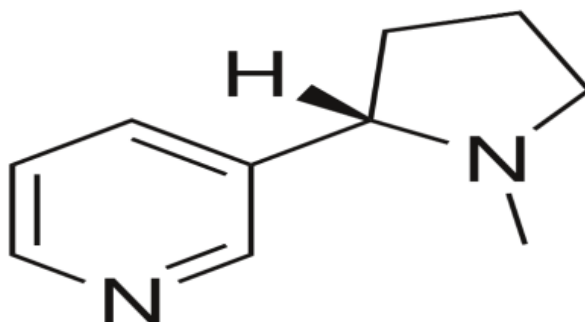


Figura 2. Estructura general de los alcaloides.
Recuperado de Rhoa, 2020.

Terpenoides

Los terpenoides, también conocidos como isoprenoides, son componentes esenciales de todos los organismos unicelulares y pluricelulares incluyendo a bacterias, archae, protistas y eucariotas ya que conforman parte de su metabolismo primario y secundario (Tetali, 2019). Los terpenoides se pueden clasificar de acuerdo a la cantidad de carbonos presentes en su estructura, de tal manera que se pueden encontrar en la naturaleza como hemi-, mono-, sesqui-, di-, sester-, tri-, tetra-, y poli-terpenos los cuales corresponden a estructuras de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 y más de 40 carbonos (Ludwiczuk *et al.*, 2017). Dentro del amplio grupo de los terpenos los carotenoides son de particular interés debido sus beneficios a la salud, principalmente por su acción antioxidante.

Estos compuestos son tetraterpenos liposolubles responsables de la pigmentación roja, naranja y amarilla de diferentes animales plantas y microorganismos (Young y Lowe, 2018). La mayoría de los carotenoides están conformados por ocho unidades de isopreno con un esqueleto de 40 carbonos. Sus estructuras generales comúnmente consisten de una cadena poliénica con nueve dobles enlaces conjugados y un grupo terminal en ambos extremos de la cadena de polieno.

Los carotenoides se dividen en dos grupos: carotenos y xantofilas. Los carotenos, como el α - y β -caroteno y el licopeno, son hidrocarburos. Por otro lado, las xantofilas, como la β -criptoxantina, la luteína, zeaxantina y astaxantina son carotenoides que contienen átomos de oxígeno como grupos hidroxilo, carbonilo, aldehído y carboxílico en estas moléculas (Maoka, 2020). Actualmente se han identificado más de 600 carotenoides en la naturaleza, sin embargo, solo se han identificado 20 en sangre y tejidos humanos siendo estos α - y β -caroteno, licopeno, luteína, criptoxantina y sus isómeros (Milani *et al.*, 2017). Las principales fuentes dietéticas de α - y β -caroteno son frutas y vegetales de color amarillo y naranja como las zanahorias, mangos, calabazas y tomates en menor concentración; el licopeno se encuentra principalmente en tomates y productos de tomate, sandía y guayaba; finalmente, las espinacas, el brócoli, la papaya, las

calabazas y las manzanas son importantes fuentes alimenticias importantes de luteína y zeaxantina (Rowless y Erdman, 2020).

Los compuestos bioactivos comprenden un grupo extremadamente rico de metabolitos secundarios con propiedades biológicas y efectos farmacológicos reconocidos y por lo general, son responsables del color, el sabor, y aroma de numerosas frutas, flores, verduras e incluso especias; pero también desempeñan un rol muy importante en la salud ya que al ser ingeridos de manera habitual en la dieta humana a través de diferentes alimentos pueden prevenir o ayudar en el tratamiento de distintas enfermedades (Ferreira y Barros, 2017).

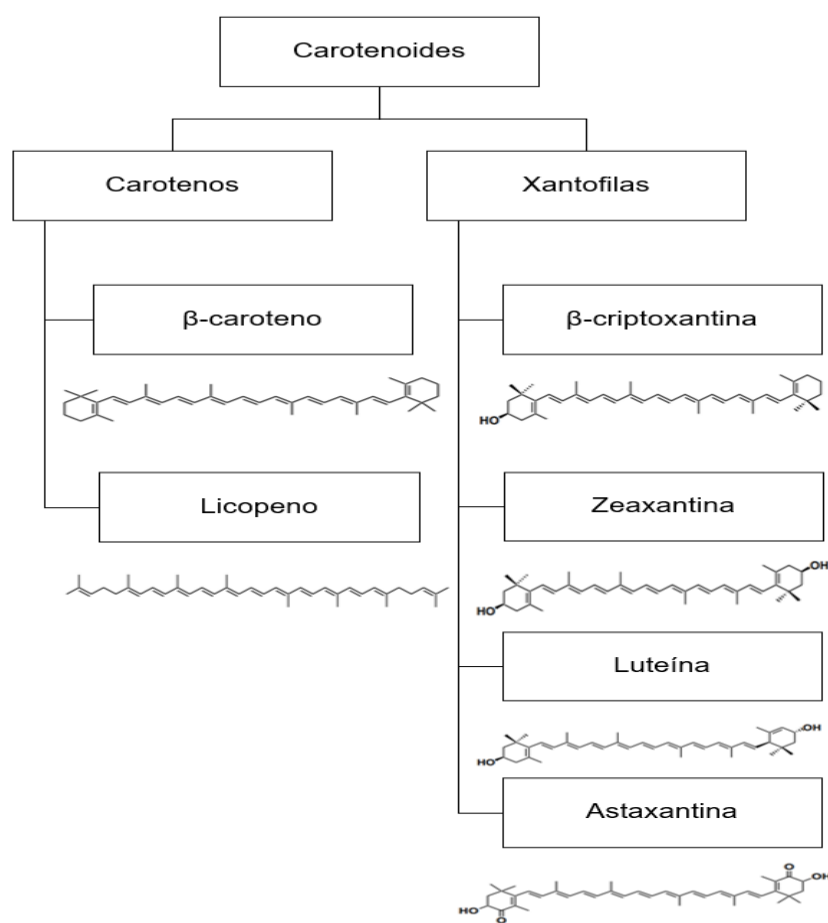


Figura 3. Clasificación y estructuras de carotenoides.
Adaptado de Maoka, 2019

2.3. Los compuestos bioactivos en la salud humana

Desde la segunda mitad del siglo pasado México ha experimentado, cada vez con mayor rapidez, una serie de cambios ambientales, sociales y estructurales, impulsados por la globalización y urbanización, lo cual ha generado cambios en el estilo de vida de la población; algunos de los cuales conducen a un aumento de la longevidad, y otros dan lugar a la exposición a factores de riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT's) (Wagner y Brath, 2012). Las enfermedades crónicas no transmisibles, también conocidas como enfermedades crónicas, se definen como aquellos procesos patológicos de evolución prolongada que no se resuelven espontáneamente y rara vez alcanzan una cura completa, además su etiología no es infecciosa por lo tanto no se transmiten. Dentro de esta categoría podemos encontrar diferentes padecimientos como las enfermedades hepáticas, renales y gastroenterológicas, trastornos endocrinos, hematológicos y neurológicos, afecciones dermatológicas, trastornos genéticos, traumatismos, trastornos mentales, cardiopatías, eventos cerebrovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas, pero también se incluyen las discapacidades que estas generan (Martínez y Díaz, 2010; WHO, 2019).

De acuerdo a Soto-Estrada y colaboradores 2016, dichos cambios han impactado en la situación epidemiológica de México ya que aproximadamente a partir de 1970 la alta incidencia y mortalidad de enfermedades infecciosas fue disminuyendo, mientras que la incidencia de ECNT's aumentó de manera desproporcional, convirtiéndose en una de las principales causas de mortalidad en México; actualmente las principales ECNT's son las enfermedades cardiovasculares diabetes, tumores malignos, enfermedades hepáticas, obesidad, entre otras más. Esta transición epidemiológica concuerda con cambios en la dieta habitual del mexicano ya que desde 1960 la disponibilidad de alimentos procesados de baja densidad nutricional incrementó ya que la ingesta de energía por habitante pasó de 2626 kilocalorías a 3159 kilocalorías por habitante en el año 2000, este incremento de energía corresponde a grasas y azúcares (Ibarra, 2016).

Estos cambios se presentan de manera continua y han mostrado ser un factor importante en el incremento de los casos de diabetes y obesidad en la población mexicana, actualmente su prevalencia es de 10.3% y 75.2% en la población respectivamente (Barquera *et al.*, 2020).

La producción exacerbada de especies reactivas de oxígeno (EROs) y una capacidad antioxidante reducida son factores que se presentan muy comúnmente en las personas que padecen ECNT's. La conexión entre estrés oxidativo y ECNT's está mediada en parte por la hiperglicemia pos prandial (Uchegbu e Ishiwu, 2016). El estrés oxidativo se puede definir como un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y su adecuada neutralización por parte de las células resultando en un daño celular el cual tiene un rol fundamental en el desarrollo de las complicaciones de las ECNT's.

Las EROs ejercen diversos efectos detrimentales, como la reducción de los transportadores de glucosa, reducción de la producción de insulina en las células pancreáticas β , fragmentación y oxidación de proteínas, daños al material genético, generación de ácidos grasos libres; adicionalmente la formación de productos de glicación avanzada mediada por estrés oxidativo contribuye a la disfunción endotelial y por consiguiente al desarrollo de complicaciones macro y microvasculares cuyo desenlace final puede ser disminución de la calidad de vida, incapacidad o una mortalidad prematura; esto sucede a través de cinco mecanismos moleculares principales: oxidación de glucosa exacerbada, sobreactivación de la ruta de los polioles, formación de productos de glicación avanzada (PGA's), peroxidación lipídica y activación exacerbada de la protein kinasa C (PKC) (Incalza *et al.*, 2018).

La respiración mitocondrial es de los principales mecanismos fisiológicos involucrado en la producción de ERO's, por lo tanto la oxidación de nutrientes a través de la glucólisis y el ciclo de los ácidos tricarbóxicos generan un incremento del flujo de las coenzimas reducidas flavín adenín dinucleótido (FADH₂) y nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) a través de la cadena de transporte de electrones en condiciones fisiológicas basales, el resultado de este

proceso es la generación de ATP y del anión superóxido, uno de los principales ERO's. En presencia de hiperglicemia se incrementa el flujo de FADH₂ y NADH por la oxidación excesiva de glucosa, lo cual exacerba la producción del anión superóxido, el mismo mecanismo sucede cuando existe un exceso de ácidos grasos libres. (Tangvarasittichai, 2015).

En segundo plano, a medida que la ruta oxidativa se satura en condiciones de hiperglicemia, la glucosa es desviada hacia otras rutas metabólicas, en este caso la ruta de los polioles, la cual contribuye a generar estrés oxidativo y progresión de la diabetes tipo 2. Esta ruta consta de dos transformaciones enzimáticas de la glucosa, la primera es la transformación de glucosa a sorbitol por acción de la enzima aldosa reductasa la cual utiliza nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido (NADPH) como cofactor, consecuentemente el sorbitol se transforma en fructosa por acción de la enzima sorbitol deshidrogenasa y utiliza como cofactor nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) el cual se reduce después de que la reacción se lleva a cabo (Yan, 2018; Cossarizza *et al.*, 2009).

El estrés oxidativo se genera por 2 causas, la primera es que la sobre activación de la vía de los polioles depleta los niveles de NADPH el cual también es un cofactor para la formación de glutatión reducido un tripéptido de gran relevancia en los sistemas endógenos antioxidantes encargados de neutralizar a las ERO's; por otra parte la formación de NADH tras la conversión de sorbitol en fructosa, favorece el flujo de este hacia la cadena de transporte de electrones donde favorecerá la formación excesiva de anión superóxido (Gansemer *et al.*, 2020; Turrens y Boveris, 1980).

En tercer lugar, la hiperglicemia y/o el nivel de estrés oxidativo favorecen la formación de productos de glicación avanzada (PGA). La formación de PGA's es resultado de una serie de procesos de glicación no enzimática de proteínas, lípidos y/o ácidos nucleicos con glucosa u otros agentes glicantes como los dicarbonilos (3-desoxiglucosona, metilglioxal y glioxal) los cuales provienen de la oxidación de ácidos grasos y glucosa en las células endoteliales de las arterias (Giacco y Brownlee, 2010). Los primeros procesos de la glicación y oxidación no

enzimática resultan en la formación de bases de Schiff y productos de Amadori por el contacto de glucosa o dicarbonilos ya sea con proteínas, lípidos y ácidos nucleicos; posteriormente los productos de Amadori se reorganizan por la interacción de los dicarbonilos con los grupos funcionales amino, sulfidril y guanidina de las moléculas susceptibles de tal manera que el producto final son PGA's estables y tienen la característica de que son casi irreversibles (Goldin *et al.*, 2006).

Los PGA's pueden modificar diferentes proteínas en el organismo, afectando su funcionamiento normal por ejemplo pueden glicar la enzima glutatión reductasa, encargada de repletar los niveles del antioxidante endógeno glutatión reducido, por lo tanto, por este mecanismo se exagera el estrés oxidativo en las ECNT's (Miyata *et al.*, 2001). Los PGA's también producen estrés oxidativo al interactuar con sus receptores desencadenan una respuesta inflamatoria mediada por la activación del factor de transcripción nuclear NFkB promoviendo la secreción de interleucina 6, aunque también puede causar un cambio en la respuesta inmune, causando la formación de lesiones y daño tisular (Lin *et al.*, 2018).

El cuarto mecanismo por el cual el estrés oxidativo mediado por hiperglicemia está implicado en la progresión de las ECNT's y la aparición de sus complicaciones es la peroxidación lipídica. En este mecanismo los ácidos grasos poliinsaturados de las membranas celulares son atacados por ERO's causando modificaciones estructurales en estos ácidos grasos, por lo tanto, las propiedades físicas de la bicapa lipídica de las membranas celulares serán alteradas, así como la fluidez, permeabilidad, interacciones lípido-lípido y el gradiente de iones de la misma. Por otra parte, este proceso genera productos de peroxidación lipídica (4-hidroxinonanal y malonildialdehído) que funcionan como moléculas señalizadoras implicadas en la regulación de la inflamación (Gaschler y Stockwell, 2017; Mapanga y Essop, 2016).

Finalmente, la hiperglicemia resulta en una producción excesiva de diacilglicerol el cual puede activar la actividad de PKC. La activación de PKC regula distintos procesos celulares, por lo tanto, en este caso el incremento de su síntesis genera

un engrosamiento de la membrana basal por lo tanto tiene un rol crucial en el desarrollo de enfermedad cardiovascular asociada a diabetes tipo 2 (Kolczynska *et al.*, 2020; Evcimen y King, 2007). Estos cinco mecanismos se pueden evitar al lograr la euglicemia; por lo tanto, una parte de la prevención de ECNT's se enfoca en normalizar las concentraciones de glucosa en sangre a través de la modificación del estilo esto incluye evitar el sedentarismo, las toxicomanías y tener una dieta rica en frutas y verduras (Avilés *et al.*, 2015).

Los compuestos bioactivos muestran la capacidad de reducir el estrés oxidativo (capacidad antioxidante) causado por diferentes sustancias o moléculas que pueden generar especies reactivas de oxígeno o radicales libres favoreciendo una reducción del riesgo de padecer enfermedades crónicas; asimismo, estos compuestos tienen el potencial de ser empleados en el desarrollo de alimentos funcionales (Adefegha, 2018).

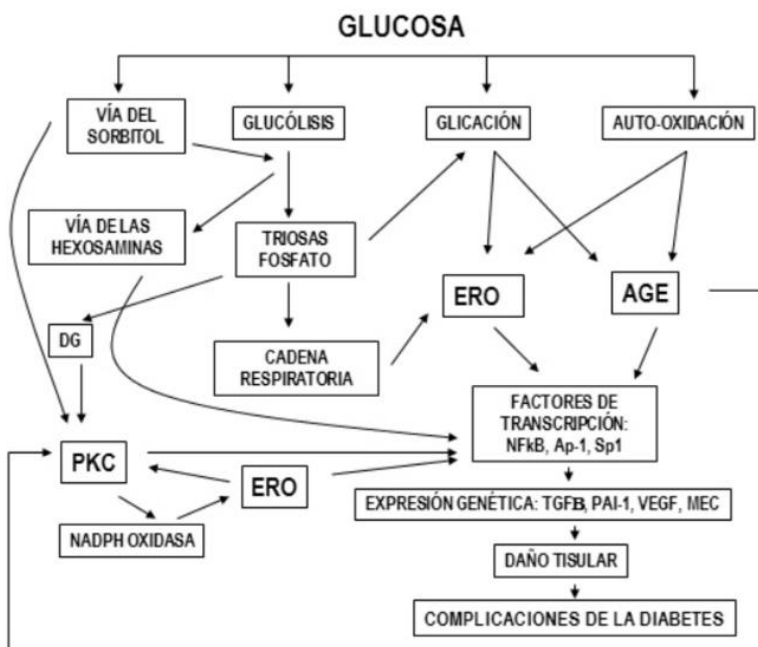


Figura 4. Modelo integrativo del mecanismo de inducción de las complicaciones de la hiperglicemia.
Recuperado de Díaz-Flores *et al.*,2021.

2.4. Alimentos funcionales

Un alimento funcional puede ser definido como un alimento similar en apariencia a un alimento convencional que se consume como parte de una dieta normal que proporciona beneficios fisiológicos más allá de la función básica nutricional como el optimizar la salud o el disminuir el riesgo de padecer ECNT's. La funcionalidad de estos alimentos es debido a la presencia de compuestos bioactivos, como lo son algunas vitaminas, minerales, fibra dietética, péptidos, ácidos grasos esenciales y compuestos bioactivos (Aghajanpour *et al.*, 2017). De acuerdo a esta definición algunos productos naturales (por ejemplo, frutas y verduras); productos alterados (e.g. cereales integrales y fibra); productos fortificados (como la adición de vitaminas y minerales); productos enriquecidos (como los probióticos) o productos mejorados por ejemplo huevos con más ácidos grasos omega-3, también son considerados alimentos funcionales (Birch y Bonwick, 2019).

El mercado de alimentos funcionales es un nicho lucrativo de producción de alimentos y se prevé que crezca a nivel mundial con una tasa de crecimiento anual promedio del 8,5 %. Los productos alimenticios funcionales más comunes en el mercado incluyen yogur (salud digestiva), cereales (salud cardíaca), margarinas/mantequillas (metabolismo del colesterol) y barras y bebidas energéticas/proteicas (reducción del hambre) (Granato *et al.*, 2020). El incremento en la demanda anual de estos alimentos se debe principalmente por el deseo del público en general de contar con opciones de alimentos e ingredientes naturales que les sean útiles en optimizar la salud, prevenir enfermedades y que se adapten a su estilo de vida (Hunter y Hegele, 2017).

El término de alimento funcional fue creado en 1980 en Japón, con la finalidad de introducir al mercado alimentos adicionados con compuestos bioactivos por lo cual era posible hacer declaraciones de propiedades preventivas para la salud que estuvieran clínicamente comprobados, la mayoría de estas declaraciones estaban relacionadas con mejorar la salud gastrointestinal, disminuir los niveles plasmáticos de colesterol, triglicéridos, reducir de la hiperglicemia o mantener una presión arterial saludable.

Por lo tanto, el Ministerio de Salud, Bienestar y Trabajo de Japón estableció los “Alimentos para Usos Específicos de Salud por sus siglas en inglés” (FOSHU) como un sistema regulatorio para los alimentos funcionales en 1991 (Iwatani y Yamamoto, 2019).

Por otra parte, en 1989 Stephen DeFelice, el presidente de la Fundación para la innovación en medicina (FIM por sus siglas en inglés), creó la palabra nutraceutico a partir de la combinación de las palabras “nutrición” y “farmacéutico” para referirse a un alimento, la parte de un alimento o un suplemento dietético que posee un beneficio médico como la prevención y/o tratamiento de una enfermedad (Souyul y Lupo 2018; Kalra, 2003). El uso del término en trabajos de investigación ha incrementado abruptamente desde el año 2000 debido al interés que ha generado este término por su importancia en la prevención y tratamiento de enfermedades, asimismo la industria de los nutraceuticos ha crecido rápidamente y a pesar de estar en una fase inicial la comercialización global de estos productos alcanzó los 379.06 billones de dólares en 2017 y se estima que incremente a los 734.60 billones de dólares en 2026 (Sachdeva *et al.*, 2020).

Es importante mencionar que estos dos términos son comúnmente utilizados como sinónimos en la literatura, sin embargo, no lo son, la principal característica que los diferencia es la manera en la que se consumen. Los nutraceuticos se pueden encontrar en el mercado en presentación de tabletas, capsulas o geles que contienen uno o varios compuestos bioactivos, por otra parte, los alimentos funcionales son productos alimenticios que contienen compuestos bioactivos (Domínguez Díaz *et al.*, 2020).

2.5. El tomate como alimento funcional

Considerando la definición de alimento funcional algunas frutas y verduras pueden ser catalogadas como alimentos funcionales, en este sentido, el fruto el tomate destaca por sus compuestos bioactivos. Este fruto es originario de los Andes, sin embargo, fue domesticado en México y posteriormente fue importado a Europa en el siglo XVI. En la actualidad, el tomate es uno de los cultivos hortícolas con mayor producción en el mundo y se consume directamente en fresco o se utiliza para producir productos derivados del tomate (Silva *et al.*, 2019).

El fruto de tomate contiene algunas vitaminas, minerales, fibra (principalmente celulosa, hemicelulosa y pectinas), aminoácidos esenciales (leucina, valina, lisina, isoleucina, histidina, fenilalanina y metionina) y ácidos grasos monoinsaturados. Estos nutrientes presentan diversas actividades biológicas cuando son ingerido entre ellas están la prevención del estreñimiento, la reducción de la presión arterial, el mantenimiento del perfil lipídico y mantenimiento de la estructura ósea (Borycka, 2017). Además de ser una excelente fuente de nutrientes, contiene compuestos bioactivos cuya ingesta se correlaciona con la prevención de enfermedades crónico degenerativas, como las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y las enfermedades neurodegenerativas (Vats *et al.*, 2022).

Muchos de los compuestos presentes en el tomate poseen actividad antioxidante tal es el caso de los carotenoides (β -carotenoides y licopeno), ácido ascórbico, tocoferol y compuestos fenólicos principalmente quercetina, kaempferol, naringenina y ácidos cafeico, ferúlico y clorogénico (Ramos-Bueno, 2017). Estos compuestos son responsables en gran parte de las características sensoriales del fruto incluido el aroma, sabor, color y textura; asimismo son capaces de inhibir las especies reactivas de oxígeno mediante la eliminación de radicales libres, además de que pueden inhibir la proliferación y el daño celular, inhibir la apoptosis y la quelación de metales, la modulación de las actividades enzimáticas, la expresión de citocinas y la transducción de vías de señalización; por lo que son sumamente útiles para la prevención de diversas ECNT's (Kelebek *et al.*, 2017).

En el tomate, el carotenoide de mayor importancia es el licopeno, el cual representa entre el 80 al 90% del total de los pigmentos en el fruto (Mazidi *et al*, 2019). Diversos estudios han mostrado que una mayor concentración plasmática de licopeno se asocia con una disminución de la presión arterial, reducción de hipertrigliceridemia e hipercolesterolemia, incrementa la actividad de enzimas antioxidantes, disminuye el porcentaje de hemoglobina glucosilada y la expresión de receptores de PGA's así como la secreción de interleucina seis; por lo tanto, el fruto del tomate representa un ingrediente que puede ser utilizado en la formulación de alimentos funcionales (Imran *et al.*, 2020; Uçar y Pandir, 2017; Tabrez *et al.*, 2017).

3. Antecedentes

Diversos estudios se han enfocado en aprovechar los compuestos bioactivos del tomate al incorporar polvo de tomate o de residuos de tomate en diversos alimentos (panadería, galletas, productos cárnicos, etc.) con la intención de conferirles un mayor aporte de fibra, antioxidantes o reducir la cantidad de conservadores utilizados en la formulación de estos, a continuación se presenta una breve revisión del estado del arte de la utilización del tomate o sus residuos para formular alimentos funcionales.

En 2011 Kim y cols. reemplazaron el uso de nitritos como colorantes en salchichas de cerdo adicionando polvo de tomate a diferentes concentraciones con la finalidad de crear una versión saludable de este alimento, por lo que se evaluó el efecto de la en la oxidación lipídica y las características sensoriales durante el almacenamiento. Para elaborar el polvo de tomate, compraron tomates frescos de un supermercado local y el cual fue sometido a un proceso de deshidratación a 70 °C durante 72 horas. El producto obtenido mostró una menor oxidación lipídica contra un control y conservó un color aceptable durante el almacenamiento refrigerado.

De manera similar Sisay y cols. en 2018 se plantearon el objetivo de obtener una reformulación de un producto extruido de trigo que tuviera mayor contenido de proteína, menor cantidad de gluten y un menor índice glicémico. Para lograrlo adicionaron harina de teff, concentrado proteico de ajonjolí y polvo de tomate a la harina de trigo. Reportaron los parámetros utilizados para la obtención del polvo de tomate; se obtuvieron tomates frescos de un mercado local, los cuales fueron sumergidos en una solución salina y se procedió a deshidratarlos a 50 °C hasta obtener una textura crujiente. El resultado fue un producto con mayor contenido de fibra y antioxidantes y buena aceptación sensorial en comparación el producto original.

Por otra parte, en el estudio elaborado por Mehta y cols. en 2018, se planteó el objetivo aprovechar el orujo de tomate proveniente de la industria procesadora de tomate al incorporarlo en diferentes concentraciones en la preparación de productos de panadería. En este estudio se agregó el orujo de tomate a la masa de panadería sin someterlo a un proceso de deshidratación. Se encontró que los panes suplementados tenían aceptabilidad sensorial, mayor contenido de fibra, vitamina C y minerales, además de que mejoró la vida de anaquel de los productos.

En el estudio realizado por Solhi y col.s en 2020 reportaron el bajo contenido de compuestos bioactivos presentes en un queso procesado tipo untable por lo que el objetivo de su estudio fue mejorar este aspecto al incorporar polvo de tomate y evaluar las características químicas y sensoriales durante 90 días de almacenamiento; cabe destacar que en su estudio no se especifican los parámetros utilizados para la obtención del polvo de tomate. Sus resultados mostraron que la adición del polvo de tomate al queso untable presentaba una buena aceptación sensorial, además se encontró una mejora en las propiedades reológicas, mayor contenido de licopeno y una mayor capacidad antioxidante.

En 2020, después de una revisión bibliográfica, Paulino y cols. observaron la posibilidad de obtener ingredientes y aditivos alimentarios a partir cascarás y semillas de tomate proveniente de una planta procesadora de tomate, por lo cual su objetivo fue obtener un polvo de tomate a partir de estos residuos. Recolectaron el residuo y lo deshidrataron en un horno de secado a una temperatura de 45 °C durante 140 minutos y lo compararon con un polvo de tomate liofilizado, sus resultados mostraron que el horno de secado permitía obtener un polvo de tomate con una mayor concentración de carotenoides.

Finalmente, Szabo y cols. en 2021, tomaron en consideración la economía circular al coleccionar residuos de tomate e integrar sus compuestos bioactivos a un producto de valor agregado, por lo que el objetivo de su estudio fue evaluar el contenido de compuestos fenólicos y carotenoides y el perfil lipídico dos tipos de orujo de tomate proveniente de una planta procesadora de tomate; el primer tipo de orujo fue sometido a una temperatura de 70 °C y el segundo a 90 °C en la planta procesadora de tomate. Deshidrataron ambos residuos para después evaluarlos y sus resultados mostraron una mayor concentración de compuestos bioactivos en el orujo de tomate tratado a 70 °C por lo que elaboraron un aceite vegetal adicionado con este polvo de tomate para convertirlo en un alimento funcional con actividad antioxidante.

4. Planteamiento del Problema

El cultivo de tomate es de importancia económica y representa la segunda hortaliza con mayor consumo en el mundo esto se debe a su sabor y versatilidad en la cocina, además, diferentes estudios han mostrado que los carotenoides y compuestos polifenólicos del tomate ayudan en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles, por lo tanto la producción mundial de tomate ha incrementado en los últimos años para cubrir la demanda de este alimento, sin embargo, inadvertidamente esto ha generado un problema ambiental.

La producción y procesamiento de tomate genera grandes cantidades de residuos para los cuales no se cuenta con una adecuada infraestructura para su disposición, por lo que la disposición de este residuo en basureros y su consiguiente putrefacción son un riesgo para el medio ambiente, asimismo, este residuo contiene altas concentraciones de compuestos bioactivos por lo cual existe la posibilidad de generar ingredientes alimentarios de bajo costo y de alta calidad que puedan ser utilizados en la formulación de alimentos funcionales.

De acuerdo a lo reportado en la literatura se han realizado diversos proyectos que tienen como objetivo aprovechar los residuos de tomate, por lo general se someten a un proceso de deshidratado para obtener polvo de tomate, sin embargo, parece no existir un procedimiento estandarizado para dicho tratamiento ya que se han implementado diferentes métodos de secado, diferentes tiempos y temperaturas lo cual resulta en variaciones en las concentraciones de compuestos bioactivos así como su capacidad antioxidante.

Se ha reportado que los compuestos bioactivos son termolábiles por lo que temperaturas altas y tiempos de secado pueden generar pérdidas de compuestos bioactivos, por otra parte, se ha evaluado el efecto del liofilizado sobre los compuestos bioactivos del tomate resultando en una menor concentración en comparación al deshidratado en un horno de secado, por lo tanto, surge la necesidad de encontrar los parámetros adecuados de deshidratado para obtener

un polvo de tomate de calidad con altas concentraciones de compuestos polifenólicos y carotenoides y que presente actividad antioxidante.

5. Justificación

Las ECNT's son las principales causas de muerte a nivel mundial y uno de los principales desafíos del siglo XXI. Según la Organización Mundial de la Salud, las ECNT's son la principal causa de muerte en todo el mundo y representan el 71% (41 millones) del total de muertes cada año de las cuales 15 millones son prematuras, es decir ocurrieron en personas con una edad entre los 30 y los 70 años. Las cuatro ECNT's con el mayor número de muertes son las enfermedades cardiovasculares (17,9 millones de muertes al año), el cáncer (9,0 millones), las enfermedades respiratorias (3,9 millones) y la diabetes (1,6 millones) (Lane *et al.*, 2021). En México, la incidencia de diabetes en las personas mayores de 20 años incrementó de 9.2% a 10.3% entre el periodo de 2012 a 2018, lo cual representa un total de 8.6 millones de personas que padecen esta enfermedad (Basto-Abreu *et al.*, 2021). La principal causa de defunción en México es por enfermedad cardiovascular asociada a diabetes tipo 2. En la región del Noroeste del país, en los estados como Baja California y Sonora, la diabetes tipo 2 se encuentra entre las primeras 10 enfermedades causantes de muertes (Pacheco *et al.*, 2018). Se estima que en el año 2030 la prevalencia de diabetes tipo 2 podría ascender hasta 18% y para 2050 podría ascender hasta el 22.4% (Rojas-Martínez *et al.*, 2018).

Cabe mencionar que en México las principales causas de incapacidad por diabetes tipo 2 son la retinopatía diabética y la amputación de extremidades; de acuerdo al estudio de la carga mundial de enfermedades, lesiones y factores de riesgo 2015, la hiperglicemia es el tercer factor de riesgo para años de incapacidad ajustados. La diabetes tipo 2 y otras enfermedades crónicas se asocian con una disminución de la esperanza de vida de aproximadamente 5 a 20 años perdidos según la gravedad de la afección y las comorbilidades asociadas y pueden generar a una menor calidad de vida, desempleo, menor productividad y desventajas sociales (Blüher, 2019).

Por todo lo anterior, las ECNT's, particular diabetes tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares, representan una alta demanda de servicios médicos que deriva en una fuerte carga económica para las instituciones de salud de México. En 2015, el gasto público para solo el tratamiento de la diabetes tipo 2 para él fue de 83,500 millones de pesos (Macías y Villarreal, 2018). Por lo tanto, la diabetes y sus complicaciones se podrían considerar como una epidemia que atentan contra la salud y la economía pública (Zhang *et al.*, 2020). Las ECNT's tienen una etiología múltiple y presentan diversos factores de riesgo, incluidos los factores genéticos, fisiológicos, conductuales y ambientales, por lo tanto, estas enfermedades se pueden prevenir al trabajar en reducir los factores de riesgo presentes en la sociedad. Los factores de riesgo se clasifican como factores modificables o no modificables, en primera instancia están los factores de riesgo modificables como la hipertensión arterial, el tabaquismo, la diabetes, la inactividad física, la obesidad y la dislipidemia y la dieta; mientras que los factores de riesgo no modificables incluyen edad, sexo, factores genéticos, raza y etnia (Peters *et al.*, 2019).

Los factores modificables también se pueden clasificar en tres clases. Primeramente, están los factores sociales, que involucran combinaciones complejas de parámetros socioeconómicos, culturales y ambientales que interactúan entre sí, después están los factores biológicos, como sobrepeso, dislipidemia, hiperinsulinemia e hipertensión y finalmente están los factores de comportamiento que incluyen la falta de actividad física, el tabaquismo, consumo de alcohol excesivo de alcohol y la dieta inadecuada (Budreviciute *et al.*, 2020).

Por lo tanto, la dieta, al ser un factor de riesgo modificable tiene una gran influencia en el desarrollo de ECNT's. Una estrategia de salud pública enfocada en la prevención de las ECNT's por parte de la OMS es la recomendación del consumo de cinco porciones de frutas y verduras diarias, el equivalente a aproximadamente 400 gramos por día ya que se han documentado los efectos benéficos sobre la diabetes y enfermedades cardiovasculares (Rooney *et al.*, 2017).

Sin embargo, menos de la mitad de los mexicanos consume la cantidad recomendable de frutas y verduras, asimismo, existe un alto consumo de alimentos procesados, por lo menos el 80% de la población en todos los rangos de edad consume bebidas no lácteas azucaradas; las botanas, dulces y postres también son ampliamente consumidos (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2020).

Estos patrones de consumo de alimentos en el país resultan en una dieta que se caracteriza por ser hipercalórica, con un alto contenido de azúcares añadidos y almidones de rápida absorción, grasas saturadas y trans, baja en fibra, vitaminas, minerales y antioxidantes; lo cual incrementa el riesgo de padecer ECNT's (Marrón-Ponce *et al.*, 2019). La alta disponibilidad de alimentos procesados con baja densidad nutricional a un bajo precio favorece el consumo de estos y forma parte de un ambiente obesogénico (Gittelsohn y Trude, 2017). Debido a la importancia del tratamiento nutricional para el control de las ECNT's se deben realizar esfuerzos para superar los retos que conlleva el lograr un control metabólico adecuado. El ambiente alimentario es un gran condicionante sobre el estado de salud de las personas (Martínez, 2017).

Tomando en cuenta el panorama de la alimentación y salud en México, la población no logra cumplir con las recomendaciones de ingesta de frutas y verduras, sin embargo, existen múltiples estrategias nutricias para incorporar estos alimentos a la dieta de la población, una de ellas es el uso de alimentos funcionales (Meléndez-Sosa *et al.*, 2020). La formulación de alimentos funcionales puede resultar costoso debido a los ingredientes con un alto contenido de compuestos bioactivos, por lo tanto, los desechos agroindustriales y desperdicios alimenticios representan un campo de interés ya que constituyen materia orgánica de bajo costo que puede ser utilizada para la generación de productos con valor agregado (Villaño *et al.*, 2022).

De acuerdo a la FAO se desperdician 1.3 billones de toneladas de comida anuales. Los restaurantes, mercados públicos y hogares son los principales generadores de residuos domésticos de alimentos (frutas y verduras), lo cual representa una de las problemáticas sociales actuales de mayor importancia por

su impacto social y al ambiente (Boliko, 2019). La prevención del desperdicio de alimentos en las etapas finales de la cadena de suministro es de suma importancia para ayudar a prevenir daño medioambiental ya que, si los hogares desperdician alimentos al final de la cadena de suministro, toda la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero invertida en su producción, procesamiento, transporte, enfriamiento serán utilizados en vano (Elimelech y Ert, 2018). Para la FAO el 6% de las pérdidas mundiales se generan en América Latina y el Caribe. No obstante, cada región desperdicia alrededor del 15% de sus alimentos disponibles donde el porcentaje de pérdida más alto se da a nivel de producción y los consumos con un 28%, seguido de manejo 22%, mercado y distribución 17% y el 5% restante a nivel de procesamiento.

Los desechos alimentarios incluyen: frutas frescas, vegetales, lácteos, productos de panadería y carne de diferentes fuentes, incluyendo la basura de los hogares, industrias de procesamiento de alimentos, cocinas comerciales y desecho de agricultura (Sharma *et al.*, 2020). Las pérdidas y desperdicios de alimentos se originan en el campo hasta su transformación y consumo, generando un impacto negativo en los recursos naturales (agua y suelo) y pérdida de nutrientes (energía, fibra, antioxidantes proteína) (Ramírez *et al.*, 2017). Al utilizar residuos se evitaría el impacto negativo sobre los recursos naturales finitos como el agua y la tierra, ya que la producción de alimentos ocupa el 25% de la superficie habitable, el 70% del consumo de agua, ocasiona un 80% de la deforestación, asimismo los residuos alimenticios son responsables de la contaminación del suelo y el agua; además su descomposición genera hasta un 30% del total gases efecto invernadero del planeta (Chen y Mathys, 2020).

En México el tomate es el producto hortícola con mayor producción anual, en 2021 se cultivaron 3.4 millones de toneladas; los principales estados productores son Sinaloa, Baja California, Michoacán, Zacatecas y Jalisco (S.I.A.P, 2021). El alto contenido de agua del tomate lo hace susceptible al deterioro microbiológico y al daño mecánico por lo que se han reportado pérdidas de hasta el 50% del total de su producción (Szabo y Vodnar, 2018).

En este sentido, el aprovechamiento y la utilización de residuos de tomate que se generan en mercados o centrales de abasto representan una opción viable para la obtención de un polvo de tomate rico en compuestos bioactivos que al ser empleado en la formulación de alimentos funcionales contribuya a mejorar el estado de salud de la población mexicana (Mourtzinou y Athanasia, 2019).

6. Hipótesis y Objetivos

6.1. Hipótesis nula

El proceso deshidratado no influye en el contenido de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante *in vitro*, por lo que estos residuos no pueden ser empleados en la formulación de alimentos funcionales.

6.2. Hipótesis alterna

Los tiempos y temperaturas de secado de residuos de tomate influye en el contenido de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante *in vitro*, por lo que estos residuos pueden ser empleados en la formulación de alimentos funcionales.

6.3. Objetivo general

Determinar la presencia de compuestos bioactivos en un pulverizado de residuos de tomate para la formulación de alimentos funcionales.

6.4. Objetivos específicos

1. Realizar tratamiento de secado de residuos de tomate a 50, 60 y 70 C durante 24, 48 y 72 horas.
2. Determinar los compuestos polifenólicos totales, carotenoides, y actividad antioxidante *in vitro* con el radical libre DPPH de los polvos de tomate obtenidos de los tratamientos de secado del polvo de tomate.
3. Realizar análisis bromatológicos de los residuos de tomate (Proteínas, carbohidratos, humedad y cenizas).
4. Determinar tiempo de vida de anaquel del mejor polvo de tomate (determinación de grados Brix, pH y contenido microbiológico).
5. Realizar análisis sensorial del mejor polvo de tomate.

7. Materiales y Métodos

7.1. Diseño del estudio

Este estudio es de tipo experimental cuantitativo y el diseño implementado para obtener datos es de tipo factorial con 2 factores, tiempo y temperatura de secado, en 3 niveles con una distribución de bloques al azar (Badii *et al.*,2007).

7.2. Descripción de la población

Tomates provenientes de establecimientos que lo hayan designado como merma.

7.3. Cálculo del tamaño de muestra

Debido al tipo de estudio no se requiere realizar el cálculo de tamaño de muestra.

7.4. Criterios de selección

7.4.1. Criterios de inclusión

Frutos de tomate que fueron designados como merma por el establecimiento que los oferta pero que aún conservaban su morfología y que no presentaban deterioro microbiológico.

7.4.2. Criterios de exclusión

Aquellos frutos de tomate que no conserven su morfología y presenten deterioro microbiológico.

7.4.3. Criterios de eliminación

Frutos de tomate frescos.

7.5. Variables

7.5.1. Variables dependientes

Las variables dependientes de esta investigación son: los compuestos polifenólicos, licopeno, β -caroteno y la capacidad antioxidante.

7.5.2. Variables independientes

Las variables independientes de esta investigación son los tiempos de secado: 24, 48 y 72 horas, además las temperaturas de secado: 50, 60 y 70 °C.

7.5.3. Operacionalización de las variables

Los residuos de tomate fueron sometidos a un total de 9 tratamientos: 24 horas de secado a 50, 60 y 70 °C; 48 horas de secado a 50, 60 y 70 °C; finalmente, 72 horas de secado a 50, 60 y 70 °C.

7.6. Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Una vez recabados los datos se aplicaron pruebas de estadística descriptiva, medias y desviaciones estándar. Para comparar los diferentes procedimientos, se utilizó la prueba de ANOVA de dos vías con un nivel de significancia $p < 0,05$. La prueba de ANOVA detectó diferencias estadísticamente significativas por lo que se aplicó la prueba de Tukey para identificar los mejores tratamientos. Se empleó el paquete estadístico “IBM SPSS Statistics 25” para el procesamiento de datos.

7.7. Aspectos éticos

En el presente estudio no se realizaron experimentos con organismos vivos que involucrara su sacrificio. Los experimentos involucran únicamente pruebas bioquímicas in vitro que se realizaran de acuerdo con las normas éticas y de bioseguridad considerando los principios éticos de la universidad.

7.8. METODOLOGÍA



Figura 5. Diagrama metodológico.

7.8.1. Colecta y preparación de los residuos de tomate

Se recolectaron residuos de tomate en establecimientos que tuvieran a la venta el residuo de este alimento en Mexicali, BC. Después de la recolección de los residuos de tomate se procedió a lavar y remover las partes no comestibles para obtener rodajas las cuales fueron deshidratadas a diferentes tiempos y temperaturas.

7.8.2. Deshidratado de las muestras de tomate

Se deshidrataron 500 gramos de muestra de residuos de tomate en un horno de circulación forzada de aire a 50, 60 y 70°C durante 24, 48 y 72 horas por triplicado para evaluar el efecto del secado en los compuestos bioactivos.

7.8.3. Determinación de humedad

La determinación de la humedad de las muestras se realizó por el método gravimétrico. Posteriormente, las muestras deshidratadas se homogenizaron usando un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino, se llevó a cabo la determinación de los compuestos bioactivos del polvo de tomate (AOAC, 2000).

7.8.4. Extracción y determinación de fenoles totales

Los compuestos fenólicos totales presentes en las muestras deshidratadas de los residuos de tomate fueron cuantificados por el método de Folin-Ciocalteu con las modificaciones propuestas por Núñez-Gastelum *et al.*,2018. Se homogenizaron 1000 mg de polvo de residuos de tomate con 10 mL de metanol frío al 80% diluido con HCl al 0.1 N y se procedió a macerar a temperatura ambiente por 2 minutos. Posteriormente, las muestras maceradas fueron centrifugadas a 10000 rpm por 15 min. La reacción consistió en mezclar 200 µL del extracto obtenido con 800 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu a 0.25 N, después de 5 min se adicionaron 1.2 mL de una solución acuosa de Na₂CO₃ al 7% y 1.6 mL de agua destilada, se incubaron por 1 hora en obscuridad. Posteriormente, los compuestos fenólicos fueron determinados por espectrofotometría usando una longitud de onda de 750 nm vis; utilizando como referencia una muestra blanco compuesta por metanol al 80% diluido con HCl al 0.1N. Los valores totales de fenoles fueron expresados en

equivalentes de ácido gálico (mg EAG/ g de base seca), a través de una curva de calibración con ácido gálico en un rango de 0 a 300 µg/mL. Donde la ecuación de la recta es $y = 0.1012x - 0.0839$.

7.8.5. Determinación de licopeno y β-caroteno

Para la determinación de licopeno y β-caroteno se realizó una extracción utilizando 50 mL de acetona en 250 mg del polvo de tomate. Las muestras fueron incubadas durante 1 hora en obscuridad, posteriormente la lectura espectrofotométrica se realizó a una longitud de onda de 508nm para la determinación de licopeno y 450 nm para la determinación de β-caroteno, previamente se fijó el blanco con acetona. La ecuación utilizada para licopeno fue: µg/g de licopeno = $(3.1206 * Abs_{508} * volumen\ total) / (peso\ de\ la\ muestra / 1000)$ (Maqsood *et al.*, 2015). La ecuación que se utilizó para determinar β-caroteno es la siguiente: µg/g de β-caroteno = $(Abs_{450} * volmen\ total) / (peso\ de\ la\ muestra * \% \text{ de materia seca de la muestra})$ (Aremu y Nweze 2017).

7.8.6. Evaluación de la capacidad antioxidante total de los residuos de tomate

La actividad antioxidante de las muestras deshidratadas de los residuos de tomate fue evaluada por el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH). Para esto, 300 µL del extracto metanólico se homogenizaron con 3mL de DPPH al 0.3mM, adicionalmente se preparó un blanco con las mismas características solo que en vez de utilizar 300 µL del extracto metanólico, se usaron 300 µL de agua destilada. Las muestras se incubaron durante 40 minutos de acuerdo con el procedimiento descrito por Molyneux (2004). La lectura espectrofotométrica se realizó a una longitud de onda de 517 nm. La capacidad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición de DPPH. La fórmula utilizada para determinar la eliminación de radicales DPPH es a siguiente: % de inhibición de DPPH = $(absorbancia\ del\ blanco - absorbancia\ de\ la\ muestra) / (absorbancia\ del\ blanco * 100)$.

7.8.7. Extracción y determinación de azúcares reductores

Para la extracción de azúcares reductores de las muestras deshidratadas a diferentes temperaturas y tiempos se empleó 1 g de muestra de polvo de tomate y se homogenizó con 10 mL de H₂SO₄ a 1.25%. Posteriormente las muestras fueron colocadas en la autoclave a 120°C durante 30 minutos. Una vez que las muestras se enfriaron, se centrifugaron a 1000 rpm por 5 minutos y se colectó el sobrenadante. Para la determinación de azúcares reductores se añadieron 0.3 mL de sobrenadante a 1 mL de ácido sulfúrico concentrado, se dejó enfriar con un baño en hielo y finalmente se realizó la lectura en un espectrofotómetro UV a una longitud de onda de 315 nm, el blanco se fijó utilizando H₂SO₄ a 1.25%. Previamente se realizó una curva estándar de glucosa de 15- 90 mg/mL. Los resultados se reportaron como mg/g de azúcares reductores equivalentes de glucosa de la muestra en base seca. La ecuación de la curva de calibración utilizada es $y = 0.002x - 0.2609 / 0.002$ (Yugsi, ,2017).

7.8.8. Extracción y determinación de proteínas con el reactivo de Bradford

Para la extracción de la porción proteica del polvo de tomate se homogenizó 1 g de muestra de polvo de tomate en un mortero frío con 5 ml de buffer de extracción a 100 mM con un pH 6.5 durante 2 minutos. Posteriormente se colectó el sobrenadante y se centrifugó a 17,000 rpm a 4 °C por 5 minutos; una vez terminado el ciclo de centrifugación se colectó el sobrenadante. Para preparar la reacción se añadieron 100 µL del extracto proteico a 1 mL de reactivo Bradford, se agitó y se incubó por 30 minutos en baño seco a 37 °C en oscuridad. Se fijó el blanco usando el mismo buffer de extracción a una longitud de onda de 595 nm. Previamente se realizó una curva de calibración con albumina de suero bovino en concentraciones de 0.125 a 2 mg/g donde la fórmula de la curva de calibración es $y = 0.495x + 0.7948$. El valor obtenido se expresó en mg/mL (Rosa, G *et al.*, 2020).

7.8.9. Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas del polvo de tomate se llevaron a peso constante crisoles de porcelana y se agregó 1 g de polvo de tomate, la cual se humeo a 200 °C durante 1 hora, posteriormente se colocó en el crisol con la muestra en una mufla y se incinero a 600 °C durante 16 horas, se dejó enfriar y se pesó el residuo de materia inorgánica. Los resultados se reportaron como porcentaje de cenizas en base seca con la siguiente formula: % de cenizas= (WAA-TWOC) / (OSW-DMC) *100. Donde WAA representa el peso después de incinerar, TWOC es el peso constante del crisol, OSW es el peso de la muestra original y DMC es la constante de materia seca y se obtiene con la siguiente ecuación. DMC= % de solidos/100. El porcentaje de sólidos se obtiene por medio de la siguiente ecuación: 100% - % de humedad/100 (AOAC, 2016).

7.8.10. Evaluación de la vida de anaquel del polvo de tomate.

Para determinar el tiempo de vida de anaquel del polvo de tomate se optó por un enfoque físico-químico y sensorial.

7.8.11. Almacenamiento del polvo de tomate

Para este fin se almacenaron 10g de polvo de tomate en tubos Falcon a temperatura ambiente, cubiertos en láminas de aluminio para evitar su exposición a la luz y reducir la degradación de los compuestos bioactivos, durante un periodo de 28 días. Se realizaron mediciones de pH y °Brix a los días 0,7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49.

7.8.12. Medición del pH

La medición del pH se realizó de acuerdo a lo establecido en la "NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos" NOM-F-317-S-1978." Por lo tanto, se procedió a agregar 10mL de agua destilada a 1g de polvo de tomate, se homogenizará en un mortero hasta obtener una pasta uniforme y se procederá a sumergir el electrodo del potenciómetro previamente calibrado, ajustando la temperatura de la muestra a 20 °C.

7.8.13. Medición de °Brix

La medición de los grados Brix se realizó de acuerdo a lo establecido en la “NMX-F-103-1982. ALIMENTOS. FRUTAS Y DERIVADOS. DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX”. Con tal fin se dejó circular agua destilada a 20°C sobre el prisma del refractómetro portátil y posteriormente se limpió cuidadosamente antes de realizar la lectura. Se colocó 1 gota de una solución 1:10 de polvo de tomate y agua destilada en el prisma y se realizó la lectura de grados Brix.

7.8.14. Conteo de mesófilos aerobios

Para el conteo de mesófilos aerobios se preparó una solución con polvo de tomate y agua destilada estéril en una proporción 1:100 se adicionó 1 mL de la solución elaborada en una caja con Agar Nutritivo (AN) y se adicionó 1ml de agua destilada estéril en otra caja con AN como control, ambas cajas fueron incubadas a 35 °C durante 48 horas; posteriormente se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC). Esto de acuerdo a lo establecido en la “NORMA Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.”

7.8.15. Conteo de mohos y levaduras

Para el conteo de hongos y levaduras se preparó una solución con polvo de tomate y agua destilada estéril en una proporción 1:100 se adicionó 1 mL de la solución elaborada en una caja con Papa-Dextrosa-Agar (PDA) y se adicionó 1ml de agua destilada estéril en otra caja con PDA como control, ambas cajas fueron incubadas a 25 °C durante 72 horas; posteriormente se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC). Esto de acuerdo a lo establecido en la “NORMA Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

7.8.16. Evaluación sensorial

Para el análisis sensorial se implementó una escala hedónica estructurada en 5 puntos: me desagrada mucho, me desagrada poco, ni me desagrada ni me agrada, me agrada poco y me agrada mucho. Con 12 jueces no entrenados los cuales calificaron los atributos de olor, color, sabor y textura de los polvos de tomate almacenadas durante 0, 7, 14, 21 y 28 días.

8. Resultados

Se observó que los diferentes tiempos y temperaturas de secado de los residuos de tomate influyeron de manera significativa en el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides, capacidad antioxidante, proteínas y azúcares reductores.

En la tabla 1 se reportan los valores de los compuestos bioactivos del polvo de tomate tratada a diferentes tiempos y temperaturas de secado, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias. El contenido de polifenoles totales que se encontró en las muestras de residuo del fruto de tomate deshidratado se encuentra en un rango de 37.99 ± 1.64 a 48.12 ± 0.30 mg EAG/ g en base seca.

El tratamiento de 60 °C durante 24 horas exhibió la mayor concentración de estos compuestos. El contenido de licopeno fue de 1077 ± 23.20 a 2503 ± 62.83 µg/ g de base seca, en el caso del β-caroteno el rango fue de 31.84 ± 0.25 a 18 ± 0.76 µg/ g de base seca. En ambos casos el mayor contenido de carotenoides se encontró en el tratamiento térmico de 70°C por 24 horas.

Para evaluar el efecto de los diferentes tiempos y temperaturas de secado sobre la capacidad antioxidante de las muestras se empleó el ensayo de DPPH donde los rangos obtenidos fueron de 4.17 ± 1.35 a $50.79 \pm 2.62\%$ de inhibición del radical DPPH. El mayor porcentaje de inhibición se obtuvo con el tratamiento térmico de 60 °C por 24 horas, aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa con la capacidad antioxidante del polvo de tomate que tuvo el tratamiento térmico de 50 °C por 24 horas.

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	Polifenoles (mgEAG/g B.S)	Licopeno (µg/g B.S)	β-caroteno (µg/g B.S)	% inhibición de DPPH
50	24	39.11 ± 2.13 ^b	1077 ± 23.20 ^d	19.43 ± 0.10 ^d	49.99 ± 1.70 ^a
	48	37.99 ± 1.64 ^b	1155 ± 98.87 ^d	24.18 ± 0.30 ^c	16.44 ± 2.94 ^b
	72	38.06 ± 1.83 ^b	1475 ± 189.9 ^c	18 ± 0.76 ^d	28.57 ± 1.43 ^b
60	24	48.12 ± 0.30 ^a	1329 ± 2.88 ^c	20.41 ± 1.84 ^d	50.79 ± 2.62 ^a
	48	47.04 ± 0.35 ^a	1865 ± 20.43 ^b	26.35 ± 0.32 ^b	6.719 ± 0.28 ^c
	72	46.72 ± 0.57 ^a	1530 ± 29.26 ^c	23.45 ± 0.45 ^c	0 ^d
70	24	44.90 ± 1.14 ^a	2503 ± 62.83 ^a	31.84 ± 0.25 ^a	4.17 ± 1.35 ^c
	48	46.02 ± 0.34 ^a	1861 ± 58.99 ^b	28.21 ± 1.94 ^b	0 ^d
	72	44.77 ± 1.58 ^a	1927 ± 68.69 ^b	26.01 ± 1.15 ^b	0 ^d

Tabla 1. Composición de compuestos bioactivos de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas.

EAG. Equivalentes de Ácido Gálico. B.S. Base Seca. Valores de media ± desviación estándar de 3 réplicas, las medias en la misma columna con letras alfabéticas diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

En la tabla 2 se presentan los resultados de la determinación proximal de las diferentes muestras. Se encontró que los residuos de tomate contienen un total de $94.74 \pm 0.24\%$ de humedad. El contenido de proteínas de las diferentes muestras se encuentra en un rango de 3.08 ± 0.46 a 4.77 ± 0.26 mg/ g. El mayor contenido de proteínas se encontró en el tratamiento térmico de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, sin embargo, no hay diferencias estadísticamente significativas entre este tratamiento y los tratamientos de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 72 horas y el de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

El contenido de azúcares reductores se encontró en un rango entre 112.7 ± 7.25 y 196.4 ± 8.01 mg/g. La menor concentración se presenta en el tratamiento $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas y la mayor concentración en $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas. Se encuentra un descenso en la concentración de azúcares reductores en relación al tiempo y temperatura de secado. El porcentaje de cenizas de las muestras se encuentra en un rango de 7.65 a 7.79%.

Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (horas)	% de humedad	Proteína (mg/g B.S)	Azúcares reductores (mg/g B.S)	% de cenizas
50	24	94.74± 0.26 ^a	3.19 ± 0.04 ^b	112.7 ± 7.25 ^c	7.75 ± 0.09 ^a
	48	94.74± 0.26 ^a	4.77 ± 0.26 ^a	158.4 ± 8.02 ^b	7.74 ± 0.09 ^a
	72	94.74± 0.26 ^a	4.53 ± 0.27 ^a	196.4 ± 8.01 ^a	7.72 ± 0.05 ^a
60	24	94.74± 0.26 ^a	4.06 ± 0.26 ^a	164.8 ± 16.37 ^b	7.79 ± 0.01 ^a
	48	94.74± 0.26 ^a	3.69 ± 0.32 ^b	139.3 ± 12.21 ^b	7.71 ± 0.03 ^a
	72	94.74± 0.26 ^a	3.19 ± 0.19 ^b	152.2 ± 5.12 ^b	7.72 ± 0.02 ^a
70	24	94.74± 0.26 ^a	3.11 ± 0.53 ^b	160.00 ± 8.05 ^b	7.67 ± 0.01 ^a
	48	94.74± 0.26 ^a	3.08 ± 0.46 ^b	140.40 ± 10.58 ^b	7.65 ± 0.04 ^a
	72	94.74± 0.26 ^a	3.09 ± 0.38 ^b	144.00 ± 5.64 ^b	7.66 ± 0.01 ^a

Tabla 2. Composición proximal de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas.

B.S. Base Seca. Valores de media ± desviación estándar de 3 réplicas, las medias en la misma columna con letras alfabéticas diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

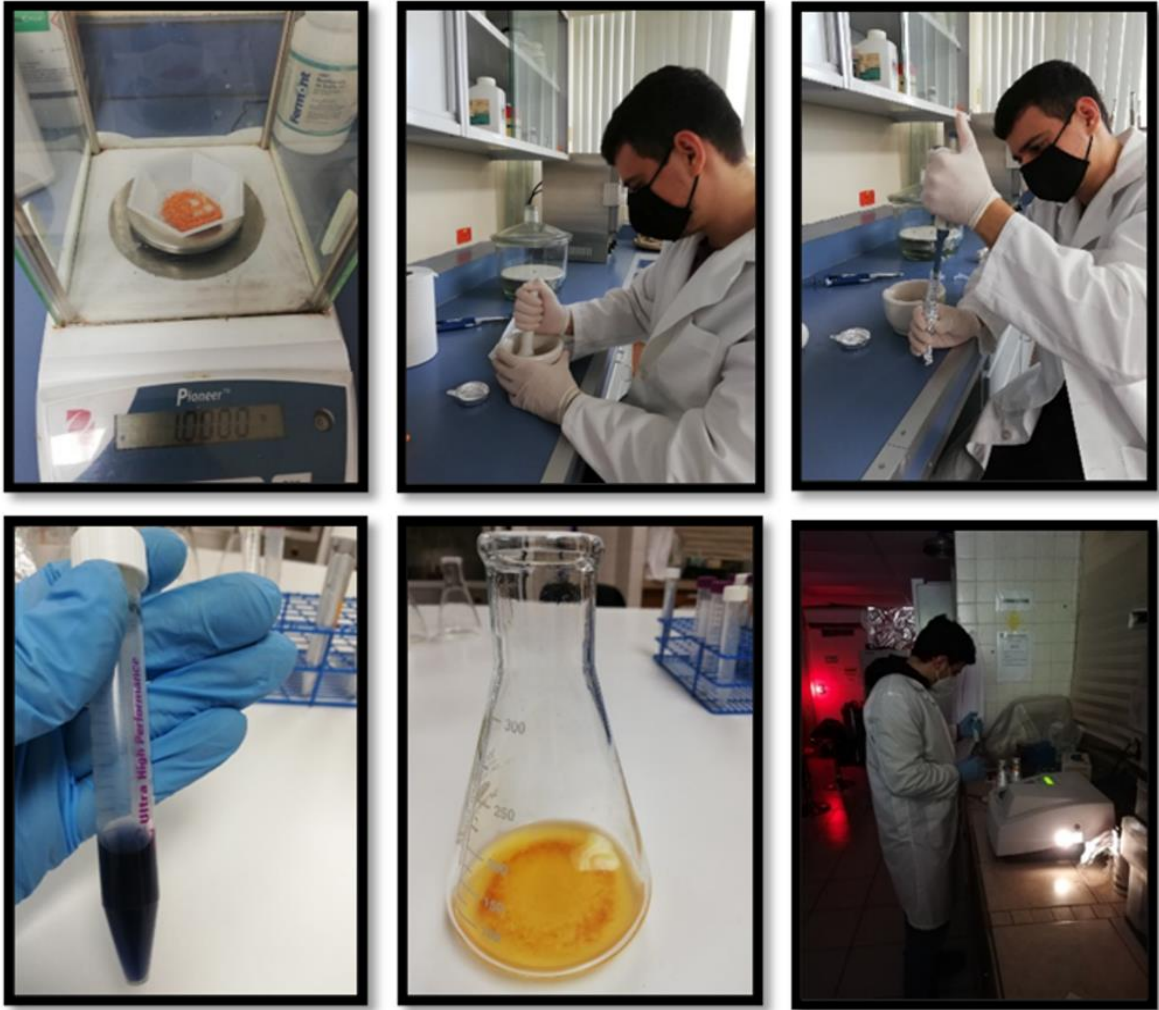


Figura 6. Análisis de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de polvo de tomate.

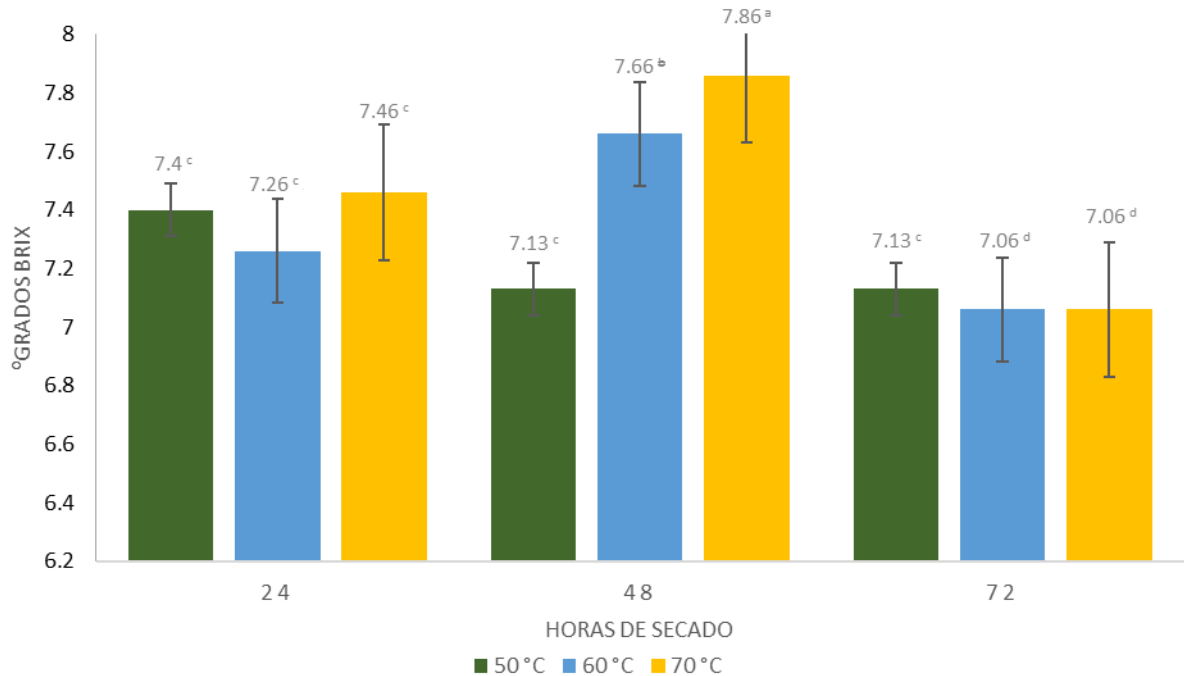


Figura 7. Grados Brix de los polvos de tomate obtenidos a diferentes tiempos y temperaturas de secado.

El valor de la media de los grados Brix de las diferentes muestras de polvo de tomate se encuentran en un rango de 7.06 a 7.86 grados Brix. Se puede observar que el tiempo de secado de 72 horas disminuyó significativamente el total de sólidos solubles en todos los tratamientos térmicos. Se produjo un incremento en las temperaturas de 60 y 70 °C a las 48 horas en comparación con el tiempo de secado de 24 horas.

De acuerdo con los resultados obtenidos se seleccionó el mejor polvo de tomate considerando el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante del mismo. El mejor tratamiento térmico fue el que tuvo una duración de 24 horas a una temperatura de 60 °C, por lo tanto, las siguientes pruebas se realizaron al polvo de tomate que fue sometido a este tratamiento.

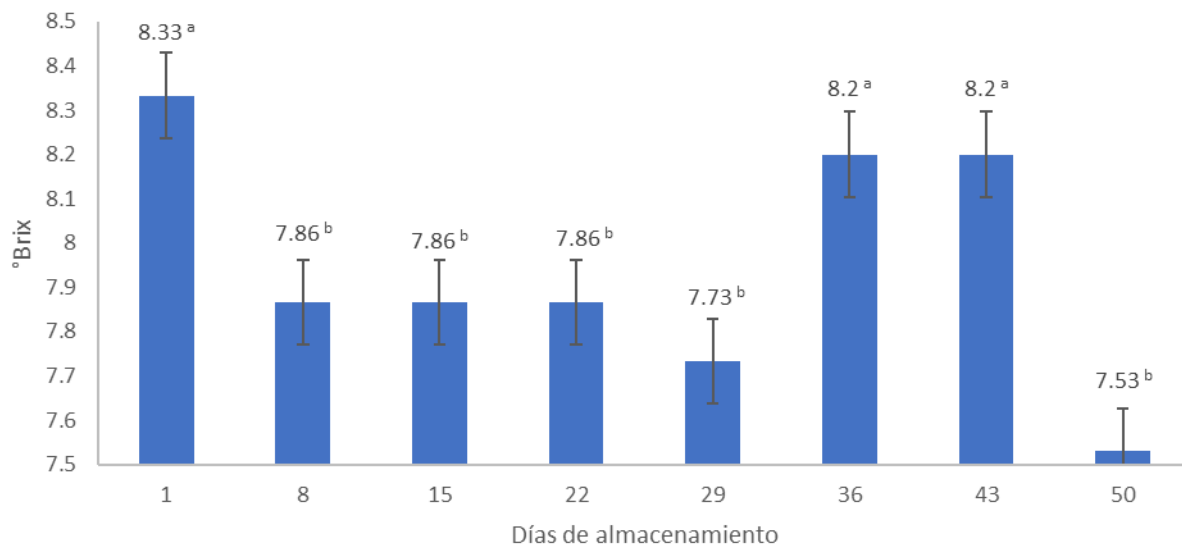


Figura 8. Comportamiento de grados Brix durante 50 días de almacenamiento del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas.

La concentración de grados Brix del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas presentó cambios estadísticamente significativos durante los 50 días de almacenamiento. El rango de grados Brix se encuentra entre 8.33 a 7.53. Se puede observar un descenso desde el día 1 hasta el día 29 de almacenamiento, posteriormente, en el día 36 y 43 los grados Brix incrementan y finalmente en el día de almacenamiento 50 llegan a su concentración más baja.

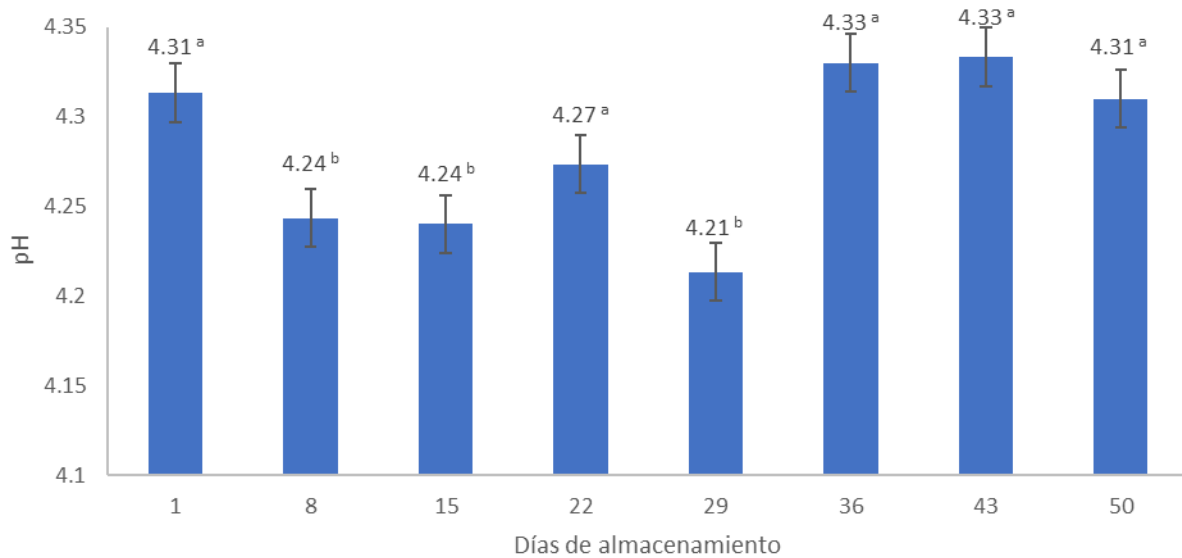


Figura 9. Comportamiento de pH del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.

El valor de pH del polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante los 50 días de almacenamiento se encuentra en un rango entre 4.33 y 4.21, se encontraron diferencias estadísticamente significativas. A partir del primer día de almacenamiento se puede observar un descenso del pH hasta su punto más bajo en el día 29, sin embargo, a partir del día 36 se observa un incremento del mismo y para el día de almacenamiento 50 el valor del pH coincide con su valor del primer día de almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento	Mesófilos aerobios (UFC/g)	Mohos (UFC/g)	Levaduras (UFC/g)
1 día	0	0	0
8 días	0	0	0
15 días	0	0	0
22 días	0	0	0
29 días	0	0	0
36 días	0	0	0
43 días	0	0	0
50 días	0	0	0

Tabla 3. Calidad microbiológica de polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.

El polvo de tomate presentó 0 unidades formadoras de colonias de mesófilos aerobios, mohos y levaduras desde el primer día de almacenamiento hasta el día 50 de almacenamiento.

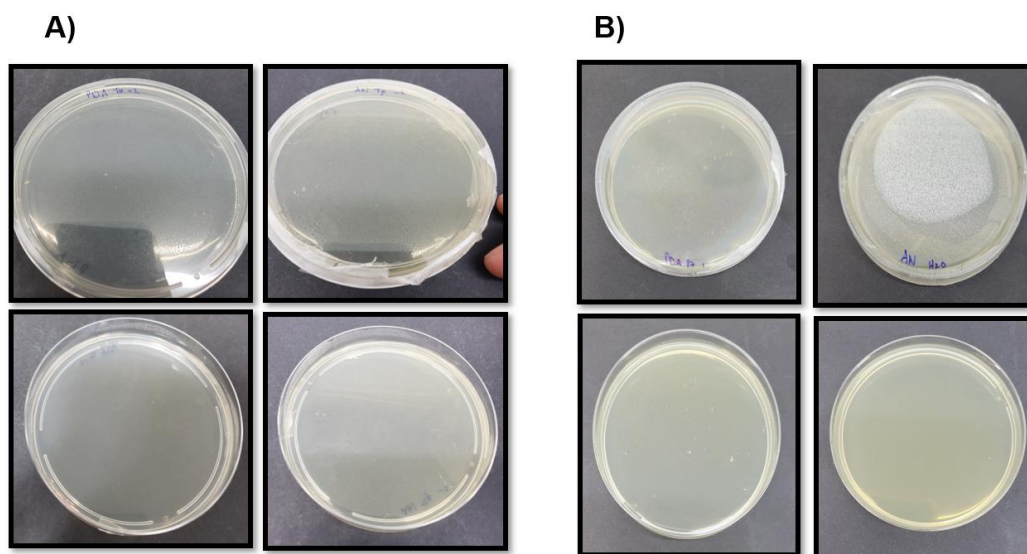


Figura 10. Cultivos en PDA y AN de polvo de tomate sometido a 60 °C por 24 horas durante 50 días de almacenamiento.

A) Polvo de tomate recién elaborado

B) Polvo de tomate almacenado durante 50 días.

Tiempo de almacenamiento	Color	Olor	Sabor	Textura
1 día	4.33 ^a	4.83 ^a	4.83 ^a	4.58 ^a
8 días	4.66 ^a	4.58 ^a	4.75 ^a	4.25 ^a
15 días	4.41 ^a	4.83 ^a	4.25 ^a	4.33 ^a
22 días	4.66 ^a	4.5 ^a	4.08 ^a	4.25 ^a
29 días	4.41 ^a	4.75 ^a	4.66 ^a	4.41 ^a

Tabla 4. Promedio del análisis sensorial de polvo de tomate durante 29 días de almacenamiento.

Cada dato representa el valor de la media (n=12) de la calificación obtenida durante la evaluación sensorial.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las propiedades organolépticas del polvo de tomate durante el tiempo de almacenamiento. Se mantuvo un nivel alto de aceptabilidad del producto en el curso de los 29 días.



Figura 11. Juez no entrenado realizando evaluación sensorial de polvo de tomate.

9. Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos para esta sección se comparan los resultados del polvo de tomate que fue sometido al proceso de deshidratación de 60 °C durante 24 horas con otros trabajos similares debido a que tuvo la mayor concentración de compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante.

El contenido de compuestos fenólicos obtenidos fue de 48.12 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de base seca, esta concentración es superior a lo reportado por Harini *et al.*, 2019 en su estudio obtuvieron 4.89 mg EAG/ g de base seca usando tomates maduros y un tratamiento de 60 °C durante 4 horas. Maqsood y Eldin, 2015 usaron un horno solar para deshidratar tomates frescos durante 52 horas y obtuvieron 5.86 mg EAG/ g de base seca. Por otra parte, en el estudio de Horuz *et al.*, 2017 se implementó un horno con circulación de aire con una potencia de 120 W hasta alcanzar una humedad de 17% en sus muestras de tomate y obtuvieron 16.26 mg EAG/ g de base seca. Finalmente, Kim y Chin, 2016, deshidrataron tomates maduros en un horno durante 20 horas a 60 °C y obtuvieron 19.5 mg EAG/ g de base seca.

Los compuestos fenólicos solubles están contenidos en las vacuolas y los insolubles se encuentran ligados a macromoléculas de la membrana celular como proteínas estructurales, celulosa y pectina. Durante el proceso de deshidratado estas estructuras son degradadas resultando en una mayor bioaccesibilidad (Gómez- Maqueo *et al.*, 2020). La enzima polifenol oxidasa, responsable de la degradación de estos compuestos puede ser inhibida con una temperatura de 60 °C, sin embargo, los tiempos prolongados de secado también pueden destruir los compuestos fenólicos (Kaur *et al.*, 2020).

El contenido obtenido de licopeno y β -caroteno en las muestras del tratamiento de 60 °C por 24 horas son de 1329 y 20.41 microgramos por gramo de base seca y estas concentraciones son menores a lo reportado por Jorge *et al.*, 2018, su estudio encontró 4043 μ g/ g de base seca de licopeno y 2117 μ g/ g de β -caroteno en base seca su tratamiento de deshidratado fue de 70 °C por 24 horas. Mendelová *et al.*, 2020 encontró un contenido de 1268.5 μ g/ g de base seca de carotenoides totales utilizando una temperatura de 70 °C durante aproximadamente 17 horas. Moreno y Díaz 2017 encontraron 456.7 μ g/ g de β -caroteno utilizando una temperatura de 60 °C durante aproximadamente 17 horas. Cabe destacar que en estos estudios se utilizó tomate fresco para elaborar los polvos de tomate. Por otra parte, Ibrahim *et al.*, 2017 reporta un contenido menor de carotenoides totales (5.15 μ g/ g) en orujo de tomate industrial compuesto por pulpa, semillas y piel utilizando una temperatura de 60 °C.

El tratamiento térmico permite la liberación de licopeno y β -caroteno en el tomate debido a la degradación de los cromoplastos y la membrana celular (Palmero *et al.*, 2014). Una vez liberados son susceptibles a la ruptura oxidativa o isomerización debido a la presencia de dobles enlaces en su estructura en una manera dependiente al tiempo y la temperatura del tratamiento aplicado, lo cual puede generar pérdidas en la concentración de carotenoides o de su capacidad antioxidante (Bhatkar *et al.*, 2021). Los resultados obtenidos muestran una mayor concentración de carotenoides en el polvo de tomate que recibió el tratamiento de 70°C durante 24 horas, sin embargo, este polvo posee una actividad antioxidante muy baja.

El contenido de humedad de las muestras evaluadas en este trabajo es de 94.74% y coincide con los resultados reportados por Tanambell *et al.*, 2020 donde encontraron un contenido de humedad de 94.52% en una variedad de tomate rojo y 94.78% en una variedad de tomate naranja. En otro estudio realizado por Garuba *et al.*, 2018 se encontró un contenido de humedad entre 91.91 y 94.40% en cuatro variedades de tomate. Por otra parte, Alfeo *et al.*, 2021 reportó un contenido de humedad de 92% para el tomate Cherry.

El contenido de humedad del tomate es alto y se encuentra por encima del 90% del fruto según lo reportado por diferentes estudios, las diferencias en el contenido de humedad se deben a las diferentes variedades de tomate que existen.

El contenido de proteínas encontrado en la muestra fue de 0.4 gramos por 100 gramos de base seca y se encuentra dentro de los rangos reportados por Valdivias Mares, 2014 y Olayinka *et al.*, 2017, sin embargo, Azeez *et al.*, 2017, López-Cervantes *et al.*, 2014, obtuvieron mayores concentraciones de proteína en sus trabajos. Dependiendo de los parámetros del deshidratado se puede obtener un mayor contenido proteico, como se puede observar en los primeros cuatro tratamientos térmicos, esto se debe a la destrucción de la fracción proteína-celulosa resultando en una mejor extracción y cuantificación de proteínas (Pinela *et al.*, 2017). Durante el proceso de deshidratado el contenido proteico puede disminuir por la desnaturalización y posterior liberación de amino ácidos de las proteínas del tomate, los cuales pueden interactuar con los azúcares del alimento para formar compuestos de la reacción de Maillard (Oliveira *et al.*, 2015).

El contenido de azúcares reductores presentes en la muestra fue 16g/100 gramos de base seca, sin embargo, Ding *et al.*, 2016, Ali *et al.*, 2020, Díaz *et al.*, 2017 y Pinela *et al.*, 2017 reportaron rangos superiores en sus trabajos; 27.6 a 38.6 g/100g, 30.03 a 41.21 g/100g, 21 a 25 g/100g y 34.47 a 52.38 g/100g respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar una disminución de la concentración de azúcares reductores en relación con temperaturas altas y tiempos prolongados durante el proceso de deshidratación, esta reducción se debe a la formación de productos de la reacción de Maillard provenientes de la interacción de grupos carbonilo, aldehído o cetona de los azúcares reductores con compuestos amino de proteínas, péptidos o amino ácidos (Kumar *et al.*, 2015). Esta reacción genera melanoidinas, pigmentos marrones, además de causar pérdidas nutricionales (Bastos y Gugliucci, 2015).

El contenido de cenizas de las muestras fue de 7.79% y se encuentra dentro de los rangos reportados en la literatura. Elbadrawy y Sello 2015 obtuvieron 5.9% de cenizas en su trabajo; Elwan *et al.*, 2019 encontró 7 % de cenizas en sus muestras de tomate; Ahmad *et al* 2020 encontró entre 6.23 a 7.70% utilizando diferentes métodos de secado y Sarker *et al* 2014 obtuvieron 9.22% de contenido total de cenizas. El fruto de tomate contiene un alto contenido de potasio y de magnesio mientras que tiene un bajo contenido en sodio (Haylowits *et al.*, 2016). Este perfil de minerales promueve la salud cardiovascular al mantener la presión arterial dentro de rangos saludables (Filippou *et al.*, 2020).

Los grados Brix encontrados en la muestra de polvo de tomate fue de 7.26, esta concentración es mayor en comparación de Espindola Pilares, 2021 que encontró valores de 4.57 grados Brix en sus muestras; Hossain *et al.*, 2021 encontraron 4.5 grados Brix en su estudio; Montiel-Ventura *et al.*, 2021 también obtuvo valores similares (3.93 grados Brix), finalmente Obinna-Echem *et al.*, 2021 obtuvieron valores similares (6.14 a 7.31 grados Brix) en comparación con el presente trabajo.

Las variaciones de los grados Brix pueden atribuirse a los cambios físico-químicos que experimenta el polvo de tomate en relación al tiempo y la temperatura de secado como se explica en los apartados de proteínas y azúcares reductores, sin embargo, es importante mencionar que las diferencias encontradas en este estudio en comparación con lo encontrado en la literatura se deben a diversos factores como: el estado de madurez de los tomates al momento del deshidratado, la estación en la que fueron cosechados, la ubicación geográfica, la composición del suelo, el genotipo del fruto de tomate, entre otros (Flores y Cutipa, 2019).

10. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que tanto el tiempo y la temperatura de secado influyen en el producto final, por lo tanto, es imprescindible encontrar un equilibrio entre estos para asegurar la correcta liberación de los compuestos bioactivos de la matriz alimentaria y evitar la degradación enzimática mientras que se evita la isomerización y degradación de los compuestos bioactivos ya que estos fenómenos reducen la actividad antioxidante del polvo de tomate. El presente trabajo elucidó la posibilidad de obtener un ingrediente para la formulación de alimentos funcionales de calidad, inocuo y con un alto grado de aceptabilidad, a través del adecuado tratamiento tecnológico de los residuos del tomate procedente de establecimientos urbanos.

Para futuros trabajos se recomienda integrar el polvo de tomate en una matriz alimentaria considerando alguna técnica de micro encapsulado para mejorar la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos y evaluar su aceptación sensorial, además realizar pruebas *in vivo* para evaluar la capacidad del alimento formulado de modificar algún biomarcador o generar alguna respuesta nutrigenética en humanos y finalmente, se recomienda evaluar la posibilidad de escalar el proyecto.

11. Bibliografía

- Adefegha, S. A. (2018). Functional foods and nutraceuticals as dietary intervention in chronic diseases; novel perspectives for health promotion and disease prevention. *Journal of Dietary Supplements*, 15(6), 977-1009.
- Aghajanpour, M., Nazer, M. R., Obeidavi, Z., Akbari, M., Ezati, P., & Kor, N. M. (2017). Functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: a comprehensive review. *American journal of cancer research*, 7(4), 740.
- Ahmad, A., Gungula, D. T., Tame, V. T., Kapsiya, J., Kirawa, D. M. A., & Ilesanmi, J. O. (2017) Effects of Different Drying Methods and Packaging Materials on Quality of Tomato Powder.
- Alfeo, V., Planeta, D., Velotto, S., Palmeri, R., & Todaro, A. (2021). Cherry tomato drying: sun versus convective oven. *Horticulturae*, 7(3), 40.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 17th edition, 2000; Washington DC. USA
- AOAC International (2016) Official methods of analysis, 20th edn. (On-line). AOAC International, Rockville, MD.
- Aremu, S. O., & Nweze, C. C. (2017). Determination of vitamin A content from selected Nigerian fruits using spectrophotometric method. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 52(2), 153-158.
- Aronson, J. K. (2017). Defining 'nutraceuticals': Neither nutritious nor pharmaceutical. *British journal of clinical pharmacology*, 83(1), 8-19.

- Arredondo, A., & De Icaza, E. (2011). Costos de la diabetes en America latina: evidencias del caso mexicano. *Value in health*, 14(5), S85-S88.
- Avilés, A. G. P., Velázquez, L. S. G., García, E. V., Giles, Ó. A., Martínez, M. E. R., Rosas, E. R. P., & Dávila, R. (2015). Nivel de adherencia al tratamiento y el control glucémico en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 descontrolados. *Rev Mex Endocrinol Metab Nutr*, 2, 11-7.
- Azeez, L., Oyedeji, A. O., Adebisi, S. A., Adejumo, A. L., & Tijani, K. O. (2017). Chemical components retention and modelling of antioxidant activity using neural networks in oven dried tomato slices with and without osmotic dehydration pre-treatment. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2247-2258.
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117(4), 426-436.
- Badii, M. H., Rodríguez, M. C., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de negocios*, 4(8).
- Barreca, D., Trombetta, D., Smeriglio, A., Mandalari, G., Romeo, O., Felice, M. R., ... & Nabavi, S. M. (2021). Food flavonols: Nutraceuticals with complex health benefits and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 194-204.
- Barquera, S., Hernández-Barrera, L., Trejo-Valdivia, B., Shamah, T., Campos-Nonato, I., & Rivera-Dommarco, J. (2020). Obesidad en México, prevalencia y tendencias en adultos. *Ensanut 2018-19. salud pública de méxico*, 62(6).

- Basto-Abreu, A. C., López-Olmedo, N., Rojas-Martínez, R., Aguilar-Salinas, C. A., De la Cruz-Góngora, V. V., Rivera-Dommarco, J., ... & Barrientos-Gutiérrez, T. (2021). Prevalence of diabetes and glycemic control in Mexico: national results from 2018 and 2020. *salud pública de méxico*, 63(6, Nov-Dic), 725-733.
- Bastos, D. H. M., & Gugliucci, A. (2015). Contemporary and controversial aspects of the Maillard reaction products. *Current Opinion in Food Science*, 1, 13-20.
- Bello Escamilla, N. V., & Montoya Cáceres, P. A. (2017). Adherencia al tratamiento farmacológico en adultos mayores diabéticos tipo 2 y sus factores asociados. *Gerokomos*, 28(2), 73-77. 288-298.
- Bertran Vilà, M. (2010). Acercamiento antropológico de la alimentación y salud en México. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, 20, 387-411.
- Bhatkar, N. S., Shirkole, S. S., Mujumdar, A. S., & Thorat, B. N. (2021). Drying of tomatoes and tomato processing waste: a critical review of the quality aspects. *Drying Technology*, 39(11), 1720-1744.
- Birch, C. S., & Bonwick, G. A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(5), 1467-1485.
- Blüher, M. (2019). Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5).
- Bribi, N. (2018). Pharmacological activity of alkaloids: a review. *Asian journal of botany*, 1(1), 1-6.

- Boliko, M. C. (2019). FAO and the situation of food security and nutrition in the world. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 65(Supplement), S4-S8.
- Borycka, B. (2017). Tomato fibre as potential functional food ingredients. *Pol. J. Nat. Sci*, 32, 121-130.
- Budreviciute, A., Damiani, S., Sabir, D. K., Onder, K., Schuller-Goetzburg, P., Plakys, G., ... & Kodzius, R. (2020). Management and prevention strategies for non-communicable diseases (NCDs) and their risk factors. *Frontiers in public health*, 8, 788.
- Bustamante-Rangel, M., Delgado-Zamarreño, M. M., Pérez-Martín, L., Rodríguez-Gonzalo, E., & Domínguez-Álvarez, J. (2018). Analysis of isoflavones in foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(2), 391-411.
- Câmara, J. S., Albuquerque, B. R., Aguiar, J., Corrêa, R. C., Gonçalves, J. L., Granato, D., ... & Ferreira, I. C. (2021). Food bioactive compounds and emerging techniques for their extraction: Polyphenols as a case study. *Foods*, 10(1), 37.
- Caseiro, M., Ascenso, A., Costa, A., Creagh-Flynn, J., Johnson, M., & Simões, S. (2020). Lycopene in human health. *LWT*, 109323.
- Celli, G. B., Tan, C., & Selig, M. J. (2019). Anthocyanidins and anthocyanins. *Encyclopedia of Food Chemistry; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*, 218-223.

- Chaboud, G., & Moustier, P. (2021). The role of diverse distribution channels in reducing food loss and waste: The case of the Cali tomato supply chain in Colombia. *Food Policy*, 98, 101881.
- Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104912.
- Cheng, H. M., Koutsidis, G., Lodge, J. K., Ashor, A. W., Siervo, M., & Lara, J. (2019). Lycopene and tomato and risk of cardiovascular diseases: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(1), 141-158.
- Cherono, K., & Workneh, T. S. (2018). A review of the role of transportation on the quality changes of fresh tomatoes and their management in South Africa and other emerging markets. *International Food Research Journal*, 25(6), 2211-2228.
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Meneguzzo, F., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Lycopene: emerging production methods and applications of a valued carotenoid. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(3), 643-650.
- Coman, V., & Vodnar, D. C. (2020). Hydroxycinnamic acids and human health: Recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(2), 483-499.
- Cristóbal, J., Caldeira, C., Corrado, S., & Sala, S. (2018). Techno-economic and profitability analysis of food waste biorefineries at European level. *Bioresource Technology*, 259, 244-252.

- Cossarizza, A., Ferraresi, R., Troiano, L., Roat, E., Gibellini, L., Bertoncelli, L., ... & Pinti, M. (2009). Simultaneous analysis of reactive oxygen species and reduced glutathione content in living cells by polychromatic flow cytometry. *Nature protocols*, 4(12), 1790-1797.
- Costa, A., Marques, M., Congiu, F., Paiva, A., Simões, P., Ferreira, A., ... & Simões, S. (2021). Evaluating the Presence of Lycopene-Enriched Extracts from Tomato on Topical Emulsions: Physico-Chemical Characterization and Sensory Analysis. *Applied Sciences*, 11(11), 5120.
- Costa-Rodrigues, J., Pinho, O., & Monteiro, P. R. R. (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food chemistry*, 245, 1148-1153.
- Díaz-Flores, M., Baiza-Gutman, L. A., Ibáñez-Hernández, M. Á., Pascoe-Lira, D., Guzmán-Greenfel, A. M., & Kumate-Rodríguez, J. (2004). Molecular aspects of chronic hyperglycemia-induced tissue damage. *Gaceta médica de México*, 140(4), 437-447.
- Doménech-Asensi, G., García-Alonso, F. J., Martínez, E., Santaella, M., Martín-Pozuelo, G., Bravo, S., & Periago, M. J. (2013). Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. *Meat science*, 93(2), 213-219.
- Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2020). The frontier between nutrition and pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(10), 1738-1746.

- Durazzo, A., Lucarini, M., Camilli, E., Marconi, S., Gabrielli, P., Lisciani, S., ... & Marletta, L. (2018). Dietary lignans: definition, description and research trends in databases development. *Molecules*, 23(12), 3251.
- Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A., ... & Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(9), 2221-2243.
- Elbadrawy, E., & Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1010-S1018.
- Elimelech, E., Ayalon, O., & Ert, E. (2018). What gets measured gets managed: A new method of measuring household food waste. *Waste Management*, 76, 68-81.
- El Khawand, T., Courtois, A., Valls, J., Richard, T., & Krisa, S. (2018). A review of dietary stilbenes: Sources and bioavailability. *Phytochemistry Reviews*, 17(5), 1007-1029.
- Elwan, H. A., Elnesr, S. S., Mohany, M., & Al-Rejaie, S. S. (2019). The effects of dietary tomato powder (*Solanum lycopersicum* L.) supplementation on the haematological, immunological, serum biochemical and antioxidant parameters of growing rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(2), 534-546.
- Erb, M., & Kliebenstein, D. J. (2020). Plant secondary metabolites as defenses, regulators, and primary metabolites: the blurred functional trichotomy. *Plant physiology*, 184(1), 39-52.

- Espíndola Pílares, Y. (2021). *Productos deshidratados de tomate saladette (Solanum Lycopersicum L) una alternativa de conservación y procesamiento dirigido a la población infantil de la Sierra Norte del Estado de Puebla* (Bachelor's thesis).
- Evcimen, N. D., & King, G. L. (2007). The role of protein kinase C activation and the vascular complications of diabetes. *Pharmacological research*, 55(6), 498-510.
- Farha, A. K., Yang, Q. Q., Kim, G., Li, H. B., Zhu, F., Liu, H. Y., ... & Corke, H. (2020). Tannins as an alternative to antibiotics. *Food Bioscience*, 38, 100751.
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056.
- Ferreira, I. C., Martins, N., & Barros, L. (2017). Phenolic compounds and its bioavailability: In vitro bioactive compounds or health promoters?. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 82, pp. 1-44). Academic Press.
- Flores, R. A. P., & Cutipa, R. C. (2019). Influencia de la temperatura y velocidad del flujo de aire en las características física y sensoriales del tomate (*Lycopersicum Esculentum*) deshidratado en secador de bandejas. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 1(1), 26-35.
- Fraser, G. E., Jacobsen, B. K., Knutsen, S. F., Mashchak, A., & Lloren, J. I. (2020). Tomato consumption and intake of lycopene as predictors of the incidence

- of prostate cancer: the Adventist Health Study-2. *Cancer Causes & Control*, 31(4), 341-351.
- Galanakis, C. M. (2021). Functionality of food components and emerging technologies. *Foods*, 10(1), 128.
- Gansemer, E. R., McCommis, K. S., Martino, M., King-McAlpin, A. Q., Potthoff, M. J., Finck, B. N., ... & Rutkowski, D. T. (2020). NADPH and glutathione redox link TCA cycle activity to endoplasmic reticulum homeostasis. *IScience*, 23(5), 101116.
- García-Estrada, R. S., Diaz-Lara, A., Aguilar-Molina, V. H., & Tovar-Pedraza, J. M. (2022). Viruses of Economic Impact on Tomato Crops in Mexico: From Diagnosis to Management—A Review. *Viruses*, 14(6), 1251.
- Garuba, T., Mustapha, O. T., & Oyeyiola, G. P. (2018). Shelf life and proximate composition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits as influenced by storage methods. *Ceylon Journal of Science*, 47(4), 387-393.
- Gaschler, M. M., & Stockwell, B. R. (2017). Lipid peroxidation in cell death. *Biochemical and biophysical research communications*, 482(3), 419-425.
- Giacco, F., & Brownlee, M. (2010). Oxidative stress and diabetic complications. *Circulation research*, 107(9), 1058-1070.
- Gittelsohn, J., & Trude, A. (2017). Diabetes and obesity prevention: changing the food environment in low-income settings. *Nutrition Reviews*, 75(suppl_1), 62-69.14
- Goldin, A., Beckman, J. A., Schmidt, A. M., & Creager, M. A. (2006). Advanced glycation end products: sparking the development of diabetic vascular injury. *Circulation*, 114(6), 597-605. 49.

- Gómez-Maqueo, A., Escobedo-Avellaneda, Z., & Welti-Chanes, J. (2020). Phenolic compounds in mesoamerican fruits—Characterization, health potential and processing with innovative technologies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8357.
- González-Cantero, J. O., & Oropeza Tena, R. (2016). Intervenciones cognitivo conductuales para diabéticos en México. *Salud mental*, 39(2), 99-105.
- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology*, 11, 93-118.
- Gul, K., Singh, A. K., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: The foods for the future world. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(16), 2617-2627.
- Halali, F., Mahdavi, R., Mobasser, M., Jafarabadi, M. A., & Avval, S. K. (2016). Perceived barriers to recommended dietary adherence in patients with type 2 diabetes in Iran. *Eating behaviors*, 21, 205-210.
- Harini, R., Muthal, T., Chidanand, D. V., & Sunil, C. K. (2019). Study on physiochemical quality characteristics of tomato slices dried using innovative drying system. *Ijcs*, 7(3), 4719-4723.
- Horuz, E., Jaafar, H. J., & Maskan, M. (2017). Ultrasonication as pretreatment for drying of tomato slices in a hot air–microwave hybrid oven. *Drying Technology*, 35(7), 849-859.

- Hossain, M. A., Mitra, S., Belal, M., & Zzaman, W. (2021). Effect of foaming agent concentration and drying temperature on biochemical properties of foam mat dried tomato powder. *Food Research*, 5(2), 291-297.
- Hostetler, G. L., Ralston, R. A., & Schwartz, S. J. (2017). Flavones: Food sources, bioavailability, metabolism, and bioactivity. *Advances in Nutrition*, 8(3), 423-435.
- Ibarra, L. S. (2016). Transición alimentaria en México. *Razón y palabra*, 20(94), 162-179.
- Hunter, P. M., & Hegele, R. A. (2017). Functional foods and dietary supplements for the management of dyslipidaemia. *Nature Reviews Endocrinology*, 13(5), 278-288.
- Ibrahim, A., EL-Iraqi, M., Osman, T., & Hendawey, Y. (2017). Bio-engineering studies for tomato pomace powder production as a nutritional valuable material. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 8(12), 671-680.
- Imran, M., Ghorat, F., Ul-Haq, I., Ur-Rehman, H., Aslam, F., Heydari, M., ... & Hashempur, M. H. (2020). Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*, 9(8), 706.
- Incalza, M. A., D'Oria, R., Natalicchio, A., Perrini, S., Laviola, L., & Giorgino, F. (2018). Oxidative stress and reactive oxygen species in endothelial dysfunction associated with cardiovascular and metabolic diseases. *Vascular pharmacology*, 100, 1-19.
- Iwatani, S., & Yamamoto, N. (2019). Functional food products in Japan: A review. *Food Science and Human Wellness*, 8(2), 96-101.

- Jorge, A., Sauer Leal, E., Sequinel, R., Sequinel, T., Kubaski, E. T., & Tebcherani, S. M. (2018). Changes in the composition of tomato powder (*Lycopersicon esculentum* Mill) resulting from different drying methods. *Journal of food processing and preservation*, 42(5), e13595.
- Kalra, E. K. (2003). Nutraceutical-definition and introduction. *Aaps Pharmsci*, 5(3), 27-28.
- Kaur, R., Kaur, K., & Ahluwalia, P. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *LWT*, 117, 108604
- Kelebek, H.; Selli, S.; Kadiroğlu, P.; Kola, O.; Kesen, S.; Uçar, B.; Çetiner, B. Bioactive compounds and antioxidant potential in tomato pastes as affected by hot and cold break process. *Food Chem.* 2017, 220, 31–41.
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & nutrition research*, 61(1), 1361779.
- Kim, H. S., & Chin, K. B. (2016). Effects of drying temperature on antioxidant activities of tomato powder and storage stability of pork patties. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(1), 51.
- Kim, I. S., Jin, S. K., Mandal, P. K., & Kang, S. N. (2011). Quality of low-fat pork sausages with tomato powder as colour and functional additive during refrigerated storage. *Journal of food science and technology*, 48(5), 591-597.

- Kiralan, M., & Ketenoglu, O. (2022). Utilization of tomato (*Solanum lycopersicum*) by-products: an overview. *Mediterranean Fruits Bio-wastes*, 799-818.
- Kolczynska, K., Loza-Valdes, A., Hawro, I., & Sumara, G. (2020). Diacylglycerol-evoked activation of PKC and PKD isoforms in regulation of glucose and lipid metabolism: a review. *Lipids in health and disease*, 19, 1-15.
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370.
- Kumar, V., Singh, B. R., Samsher, C. S., & Singh, S. (2015). A review on tomato drying by different methods with pretreatments. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(1), 15-24.
- Lane, M. M., Davis, J. A., Beattie, S., Gómez-Donoso, C., Loughman, A., O'Neil, A., ... & Rocks, T. (2021). Ultraprocessed food and chronic noncommunicable diseases: a systematic review and meta-analysis of 43 observational studies. *Obesity Reviews*, 22(3), e13146.
- Langner, E., Lemieszek, M. K., & Rzeski, W. (2019). Lycopene, sulforaphane, quercetin, and curcumin applied together show improved antiproliferative potential in colon cancer cells in vitro. *Journal of food biochemistry*, 43(4), e12802.
- Li, N., Wu, X., Zhuang, W., Xia, L., Chen, Y., Wu, C., ... & Zhou, Y. (2021). Tomato and lycopene and multiple health outcomes: Umbrella review. *Food Chemistry*, 343, 128396.
- Lim, J. Y., & Wang, X. D. (2020). Mechanistic understanding of β -cryptoxanthin and lycopene in cancer prevention in animal models. *Biochimica et*

Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids, 1865(11), 158652.

Lin, J. A., Wu, C. H., & Yen, G. C. (2018). Perspective of advanced glycation end products on human health. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(9), 2065-2070.

Lopez-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Valenzuela-Sánchez, K. P., Núñez-Gastélum, J. A., Escárcega-Galaz, A. A., & Rodríguez-Ramírez, R. (2014). Effect of solvents and methods of stirring in extraction of lycopene, oleoresin and fatty acids from over-ripe tomato. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(2), 187-193.

Ludwiczuk, A., Skalicka-Woźniak, K., & Georgiev, M. I. (2017). Terpenoids. In *Pharmacognosy* (pp. 233-266). Academic Press.

Macías Sánchez, A., & Villarreal Páez, H. J. (2018). Sostenibilidad del gasto público: Cobertura y financiamiento de enfermedades crónicas en México. *Ensayos. Revista de economía*, 37(1), 99-133.

Mamo, G. (2016). Anaerobes as sources of bioactive compounds and health promoting tools. *Anaerobes in Biotechnology*, 433-464.

Maqsood, S., Omer, I., & Eldin, A. K. (2015). Quality attributes, moisture sorption isotherm, phenolic content and antioxidative activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as influenced by method of drying. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7059-7069.

Marrón-Ponce, J. A., Flores, M., Cediél, G., Monteiro, C. A., & Batis, C. (2019). Associations between consumption of ultra-processed foods and intake of

- nutrients related to chronic non-communicable diseases in Mexico. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 119(11), 1852-1865.
- Martín, M. Á., & Ramos, S. (2021). Impact of dietary flavanols on microbiota, immunity and inflammation in metabolic diseases. *Nutrients*, 13(3), 850.
- Martínez Espinosa, A. (2017). La consolidación del ambiente obesogénico en México. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 27(50), 0-0.
- Martínez, R. R., & Díaz, F. A. E. (2010). Las enfermedades crónicas no transmisibles en Colombia. *Boletín del observatorio en salud*, 3(4).
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of natural medicines*, 74(1), 1-16.
- Mapanga, R. F., & Essop, M. F. (2016). Damaging effects of hyperglycemia on cardiovascular function: spotlight on glucose metabolic pathways. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 310(2), H153-H173.
- Mazidi, M., Katsiki, N., George, E. S., & Banach, M. (2019). Tomato and Lycopene Consumption Is Inversely Associated with Total and Cause-Specific Mortality: A Population-based Cohort Study, on behalf of the International Lipid Expert Panel (ILEP). *British Journal of Nutrition*, 1-21.
- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillén, E., & Galáan-Hernández, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41.
- Meléndez-Sosa, M. F., García-Barrales, A. M., & Ventura-García, N. A. (2020). Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutracéuticos en México. *RD-ICUAP*, 6(1), 114-136.

- Mendelová, A., Mendel, L., Fikselová, M., & Mareček, J. (2021). CAROTENOID AND ANTIOXIDANT RETENTION OF THE DEHYDRATED TOMATO PRODUCTS AFFECTED BY THEIR DIFFERENT TECHNOLOGICAL TREATMENTS. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 409-412.
- Mehta, D., Prasad, P., Sangwan, R. S., & Yadav, S. K. (2018). Tomato processing byproduct valorization in bread and muffin: Improvement in physicochemical properties and shelf-life stability. *Journal of food science and technology*, 55(7), 2560-2568.
- Milani, A., Basirnejad, M., Shahbazi, S., & Bolhassani, A. (2017). Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. *British journal of pharmacology*, 174(11), 1290-1324.
- Miyata, T., De Strihou, C. V. Y., Imasawa, T., Yoshino, A., Ueda, Y., Ogura, H., ... & Kurokawa, K. (2001). Glyoxalase I deficiency is associated with an unusual level of advanced glycation end products in a hemodialysis patient. *Kidney international*, 60(6), 2351-2359.
- Molyneux P. 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity, Songklanakar. *Journal of Science and Technology*, 26:211-219.
31. Núñez-Ramírez, F., D. González-Mendoza, O. Grimaldo-Juárez and L.C. Díaz, 2011. Nitrogen fertilization effect on antioxidants compounds in fruits of habanero chili pepper (*Capsicum chinense*). *Int. J. Agric. Biol.*, 13: 827–830
- Montiel-Ventura, J., Luna-Guevara, J. J., Tornero-Campante, M. A., Delgado-Alvarado, A., & Luna-Guevara, M. L. (2018). Study of encapsulation

- parameters to improve content of lycopene in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) powders. *Acta Alimentaria*, 47(2), 135-142.
- Moreno G, D. C., & Díaz-Moreno, A. C. (2017). Effect of air drying process on the physicochemical, antioxidant, and microstructural characteristics of tomato cv. Chonto. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 100-106.
- Mourtzinou, Ioannis, and Athanasia Goula. "Polyphenols in agricultural byproducts and food waste." *Polyphenols in plants*. Academic Press, 2019. 23-44.
- Najmanová, I., Vopršalová, M., Saso, L., & Mladěnka, P. (2020). The pharmacokinetics of flavanones. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(18), 3155-3171.
- Nieves, J. W. (2005). Osteoporosis: the role of micronutrients. *The American journal of clinical nutrition*, 81(5), 1232S-1239S.
- Núñez-Gastélum, J. A., Hernández-Rivas, R., Rodrigo-García, J., Laura, A., Alvarez-Parrilla, E., Díaz-Sánchez, Á. G., ... & Martínez-Martínez, A. (2018). Contenido de polifenólicos, actividad antioxidante y antimicrobiana de la raíz de *ibervillea sonora*. *Biotecnia*, 20(3), 23-27.
- Obinna-Echem, P. C., Emelike, N. J., & Wachukwu-Chikaodi, H. I. (2021). Comparative Evaluation of Proximate Composition and Sensory Properties of Fruits and Vegetables from Open Market and Shopping Mall in Port Harcourt City. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(1), 119-123.
- Olayinka, B. U., Esan, O. O., Anwo, I. O., & Etejere, E. O. (2017). Comparative Growth Analysis and Fruit Quality of Two Varieties of Tomato under Hand Weeding and Pendimethalin Herbicide.

- Oliveira, S. M., Brandao, T. R., & Silva, C. L. (2016). Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: A review. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134-163.
- Palmero, P., Lemmens, L., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2014). Role of carotenoid type on the effect of thermal processing on bioaccessibility. *Food chemistry*, 157, 275-282.
- PA Silva, Y., Borba, B. C., Pereira, V. A., Reis, M. G., Caliari, M., Brooks, M. S. L., & Ferreira, T. A. (2019). Characterization of tomato processing by-product for use as a potential functional food ingredient: nutritional composition, antioxidant activity and bioactive compounds. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70(2), 150-160.
- Paulino, S. L. J., Adrián, Á. T. G., Gabriela, E. A. L., Maribel, V. M., & Sergio, M. G. (2020). Nutraceutical potential of flours from tomato by-product and tomato field waste. *Journal of Food Science and Technology*, 57(9), 3525-3531.
- Peters, R., Ee, N., Peters, J., Beckett, N., Booth, A., Rockwood, K., & Anstey, K. J. (2019). Common risk factors for major noncommunicable disease, a systematic overview of reviews and commentary: the implied potential for targeted risk reduction. *Therapeutic advances in chronic disease*, 10, 2040622319880392.
- Plumb, J., Pigat, S., Bompola, F., Cushen, M., Pinchen, H., Nørby, E., ... & Finglas, P. (2017). Ebasis (bioactive substances in food information systems) and bioactive intakes: Major updates of the bioactive compound composition and beneficial bioeffects database and the development of a probabilistic model to assess intakes in europe. *Nutrients*, 9(4), 320.

- Polonsky, W. H., & Henry, R. R. (2016). Poor medication adherence in type 2 diabetes: recognizing the scope of the problem and its key contributors. *Patient preference and adherence*, 10, 1299.
- Przybylska, (2020). Lycopene—a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 11-32.
- Ramírez, N., Marcela, V., Peñuela, S., María, L., Pérez, R., & Del Rocío, M. (2017). Organic waste as an alternative feeds for pigs. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 107-124. 22.
- Ramos-Bueno, R.P.; Romero-Gonzalez, R.; Gonzalez-Fernandes, M.J.; Guil-Guerrero, J.L. Phytochemical composition and in vitro anti-tumour activities of selected tomato varieties. *J. Sci. Food Agric.* 2017, 97, 488–496
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298.
- Rattanavipanon, W., Nithiphongwarakul, C., Sirisuwansith, P., Chaiyasothi, T., Thakkinstian, A., Nathisuwan, S., & Pathomwichaiwat, T. (2021). Effect of tomato, lycopene and related products on blood pressure: A systematic review and network meta-analysis. *Phytomedicine*, 88, 153512.
- Rico, M., González, A. G., Santana-Casiano, M., González-Dávila, M., Pérez-Almeida, N., & Tangil, M. S. D. (2017). Production of primary and secondary metabolites using algae. In *Prospects and Challenges in Algal Biotechnology* (pp. 311-326). Springer, Singapore.

- Ried, K., & Fakler, P. (2011). Protective effect of lycopene on serum cholesterol and blood pressure: Meta-analyses of intervention trials. *Maturitas*, 68(4), 299-310.
- Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Kim-Herrera, E. Y., Valdez-Sánchez, A., ... & Shamah-Levy, T. (2020). Consumo de grupos de alimentos y su asociación con características sociodemográficas en población mexicana. *Ensanut 2018-19. salud pública de méxico*, 62(6), 693-703.
- Rojas-Martínez, R., Basto-Abreu, A., Aguilar-Salinas, C. A., Zárate-Rojas, E., Villalpando, S., & Barrientos-Gutiérrez, T. (2018). Prevalence of previously diagnosed diabetes mellitus in Mexico. *Salud pública de México*, 60(3), 224-232.
- Rooney, C., McKinley, M. C., Appleton, K. M., Young, I. S., McGrath, A. J., Draffin, C. R., ... & Woodside, J. V. (2017). How much is '5-a-day'? A qualitative investigation into consumer understanding of fruit and vegetable intake guidelines. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 30(1), 105-113.
- Rosa, G. P., Barreto, M. D. C., Pinto, D. C., & Seca, A. M. (2020). A Green and Simple Protocol for Extraction and Application of a Peroxidase-Rich Enzymatic Extract. *Methods and protocols*, 3(2), 25.
- Rowles III, J. L., & Erdman Jr, J. W. (2020). Carotenoids and their role in cancer prevention. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11), 158613.
- Sabiu, S., O'Neill, F. H., & Ashafa, A. O. T. (2016). Kinetics of α -amylase and α -glucosidase inhibitory potential of *Zea mays* Linnaeus (Poaceae), *Stigma*

- maydis aqueous extract: An in vitro assessment. *Journal of ethnopharmacology*, 183, 1-8.
- Sachdeva, V., Roy, A., & Bharadvaja, N. (2020). Current prospects of nutraceuticals: A review. *Current pharmaceutical biotechnology*, 21(10), 884-896.
- Sarker, M., Hannan, M. A., Quamruzzaman, M. A., & Khatun, H. (2014). Storage of tomato powder in different packaging materials. *Journal of Agricultural Technology*, 10(3), 595-605.
- Sengupta, S., Bhattacharya, D., & Mukhopadhyay, M. (2020). Bioactive Compounds Production from Vegetable Biomass: A Biorefinery Approach. *Biorefinery Production Technologies for Chemicals and Energy*, 241-258.
- Shah, K. K., Modi, B., Lamsal, B., Shrestha, J., & Aryal, S. P. (2021). Bioactive compounds in tomato and their roles in disease prevention. *Fundamental and Applied Agriculture*, 6(2), 210-224.
- Sharma, P., Gaur, V. K., Kim, S. H., & Pandey, A. (2020). Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*, 299, 122580.
- SIAP. 2021. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agropecuaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., ... & Al-Hiary, M. (2019). Natural polyphenols: Chemical classification,

- definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1397-1400.
- Sisay, M. T., Emire, S. A., Ramaswamy, H. S., & Workneh, T. S. (2018). Effect of feed components on quality parameters of wheat–tef–sesame–tomato based extruded products. *Journal of food science and technology*, 55(7), 2649-2660.
- Soares, S., Brandão, E., Guerreiro, C., Soares, S., Mateus, N., & de Freitas, V. (2020). Tannins in food: Insights into the molecular perception of astringency and bitter taste. *Molecules*, 25(11), 2590.
- Solhi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J., & Hamishehkar, H. (2020). Production of the processed cheese containing tomato powder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. *Journal of food science and technology*, 57(6), 2198-2205.
- Soto-Estrada, G., Moreno-Altamirano, L., & Pahua Díaz, D. (2016). Panorama epidemiológico de México, principales causas de morbilidad y mortalidad. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 59(6), 8-22.
- Souyoul, S. A., Saussy, K. P., & Lupo, M. P. (2018). Nutraceuticals: a review. *Dermatology and Therapy*, 8(1), 5-16.
- Sun, L., & Miao, M. (2020). Dietary polyphenols modulate starch digestion and glycaemic level: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4), 541-555.
- Szabo, K., Cătoi, A. F., & Vodnar, D. C. (2018). Bioactive compounds extracted from tomato processing by-products as a source of valuable nutrients. *Plant foods for human nutrition*, 73(4), 268-277.

- Szabo, K., Dulf, F. V., Teleky, B. E., Eleni, P., Boukouvalas, C., Krokida, M., ... & Vodnar, D. C. (2021). Evaluation of the bioactive compounds found in tomato seed oil and tomato peels influenced by industrial heat treatments. *Foods*, 10(1), 110.
- Tabrez, S., Al-Shali, K. Z., & Ahmad, S. (2015). Lycopene powers the inhibition of glycation- induced diabetic nephropathy: A novel approach to halt the AGE-RAGE axis menace. *Biofactors*, 41(5), 372-381.
- Tanambell, H., Bishop, K. S., & Quek, S. Y. (2021). Tangerine tomatoes: Origin, biochemistry, potential health benefits and future prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(13), 2237-2248.
- Tangvarasittichai, S. (2015). Oxidative stress, insulin resistance, dyslipidemia and type 2 diabetes mellitus. *World journal of diabetes*, 6(3), 456.
- Tetali, S. D. (2019). Terpenes and isoprenoids: a wealth of compounds for global use. *Planta*, 249(1), 1-8.
- Turrens, J. F., & Boveris, A. (1980). Generation of superoxide anion by the NADH dehydrogenase of bovine heart mitochondria. *Biochemical Journal*, 191(2), 421-427.
- Uçar, S., & Pandir, D. (2017). Furan induced ovarian damage in non-diabetic and diabetic rats and cellular protective role of lycopene. *Archives of gynecology and obstetrics*, 296(5), 1027- 1037.
- Uchegbu, N. N., & Ishiwu, C. N. (2016). Germinated Pigeon Pea (*Cajanus cajan*): a novel diet for lowering oxidative stress and hyperglycemia. *Food science & nutrition*, 4(5), 772-777.

- Valdivia Mares, L. E. (2014). Caracterización morfoagronómica de tres especies silvestres de tomate (*Physalis*, Solanaceae) nativas de México. *Master Science Theses, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara*.
- Vats, S., Bansal, R., Rana, N., Kumawat, S., Bhatt, V., Jadhav, P., ... & Deshmukh, R. (2022). Unexplored nutritive potential of tomato to combat global malnutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(4), 1003-1034.
- Villaño D, Gironés-Vilapana A, García-Viguera C, Moreno DA. Development of functional foods. En: *Innovation Strategies in the Food Industry*. Elsevier; 2016. p. 191–210.
- Wagner, K. H., & Brath, H. (2012). A global view on the development of non communicable diseases. *Preventive medicine*, 54, S38-S41.
- Ma Weina, Zhu Man, Zhang Dongdong, *et al.* Berberine inhibits the proliferation and migration of breast cancer ZR-75-30 cells by targeting Ephrin-B2. *Phytomedicine* 2017 ; 25: 45-51.
- Wongsa, P., Chaiwarit, J., & Zamaludien, A. (2012). In vitro screening of phenolic compounds, potential inhibition against α -amylase and α -glucosidase of culinary herbs in Thailand. *Food Chemistry*, 131(3), 964-971.
- World Health Organization. *Noncommunicable Diseases (NCD)*. (2019).
- Xu, Y., Xie, L., Xie, J., Liu, Y., & Chen, W. (2019). Pelargonidin-3-O-rutinoside as a novel α -glucosidase inhibitor for improving postprandial hyperglycemia. *Chemical Communications*, 55(1), 39-42.

- Yan, L. J. (2018). Redox imbalance stress in diabetes mellitus: role of the polyol pathway. *Animal models and experimental medicine*, 1(1), 7-13.
- Yilmazer-Musa, M., Griffith, A. M., Michels, A. J., Schneider, E., & Frei, B. (2012). Inhibition of α -amylase and α -glucosidase activity by tea and grape seed extracts and their constituent catechins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(36), 8924.
- Young, A. J., & Lowe, G. L. (2018). Carotenoids—antioxidant properties. *Antioxidants*, 7(2), 28.
- Yugsi Lita, J. Y. (2017). Estudio comparativo de los métodos fenol-ácido sulfúrico y antrona para determinar la pureza de dos almidones, usando muestras de almidón de maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*) (Bachelor's thesis, Quito).
- Zeng, L., Zhang, G., Lin, S., & Gong, D. (2016). Inhibitory mechanism of apigenin on α -glucosidase and synergy analysis of flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(37), 6939-6949.
- Zhang, Y., Lazzarini, P. A., McPhail, S. M., van Netten, J. J., Armstrong, D. G., & Pacella, R. E. (2020). Global disability burdens of diabetes-related lower-extremity complications in 1990 and 2016. *Diabetes Care*, 43(5), 964-974.