



UAEM

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LA APORTACIÓN ANTIOXIDANTE
DEL NOPAL *Opuntia ficusindica* EN FRESCO
VS DESHIDRATADO CULTIVADO EN TEPOZTLÁN,
MORELOS PRINCIPAL PRODUCTOR DEL PAÍS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO INDUSTRIAL

PRESENTA

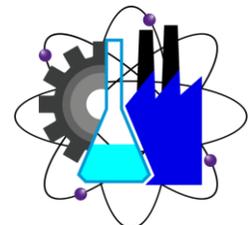
NEVEROS ALANIZ ANDREA

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. VALERI DOMÍNGUEZ VILLEGAS.

Marzo, 2023

FCOeI



El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Investigación Farmacéutica de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería a cargo de la Dra. Valeri Domínguez Villegas.

Agradecimientos

En primera instancia me gustaría agradecer a mis padres por todo su apoyo que me han brindado durante el desarrollo de este proyecto, la paciencia que me tuvieron durante esos momentos que pedía consejos y el aliento a continuar hasta finalizarlo

Al Laboratorio 325 del CIQ del cual está a cargo de la Dra. Garduño Ramírez ML, por el préstamo de equipo, así mismo a la propia Dra. Garduño por brindarme un lugar agradable donde florecía la camaradería y principalmente por recomendarme hacer este trabajo que me brindo experimentar nuevas cosas en su laboratorio.

A la Dra. Valeri Domínguez por su paciencia, sus magníficas enseñanzas y gran apoyo de este proyecto, en especial en esos momentos donde no sabía cómo continuar, por siempre brindarme oportunidades de crecer ya aprender en diversas actividades que surgían con el tiempo.

Al Sr. Hipólito Medina Productor de nopal de la zona de San Juan Tlacotenco la aportación de la información, imágenes y material biológico, así como su amable participación en las visitas a su huerta, muchas gracias si no fuera por el fruto de su esfuerzo constante por mantener la huerta no tendría muestras que tratar.

A Evelyn, Kitzia, Diego, Erick que estuvieron a mi lado y contribuyeron de alguna manera para que concluyera este trabajo, alegrando mis momentos en el laboratorio y relajándome cuando estaba estresada, me alegra decirles que al final se logró.

A mi novio, que se quedó conmigo en esos momentos de insomnio y me alentó a continuar en cada momento que me cansaba de pensar en el tema de la tesis.

“La gratitud es cuando el recuerdo se guarda en el corazón y no en la mente.” Louise Hay

Los resultados de este trabajo fueron presentados en el Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2022 celebrada en la Facultad de química de la Universidad Autónoma del Estado de Yucatán y en Latin Chem 2022 en Twitter Conference.



Resumen

Basándonos en la alta producción de nopal que presenta el estado de Morelos y contando con una zona productora cercana, se decidió trabajar con los “nopalitos” específicamente del género *Opuntia Ficus-indica* cultivados en el pueblo de San Juan Tlacotenco, perteneciente al municipio de Tepoztlán, Morelos. El presente trabajo se realizó mediante la vinculación productor-universidad para generar una aportación para contar con un campo sustentable buscando el valor agregado del producto y confirmar su aporte nutrimental en cuanto a su capacidad antioxidante. Para ello, se estableció el proceso de deshidratado por estufa de aire caliente utilizar cortes de láminas con un largo de 40.7 - 41 mm, un ancho de 11.6 -11.8 mm y un grosor de 2.1 - 2.8 mm, el cual reduce la energía consumida. Tras establecer el proceso de deshidratación se probaron diversos conservadores para garantizar que el producto procesado cuente con el aporte nutrimental tal como lo hace el nopal fresco en lo referente a su capacidad antioxidante, sin embargo, los datos arrojados mostraron que no es necesario el uso de conservadores siempre y cuando se lleve a cabo el deshidratado en el tiempo y temperatura adecuada. La actividad de atrapamiento de radicales libres fue evaluada con el modelo antioxidante del hidrato de 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) en muestras que fueron sometidas a variaciones de tratamientos térmicos siendo estas: a) nopal fresco b) nopal deshidratado en estufa de aire caliente en cortes tipo lámina c) nopal asado una temperatura de 75°C en promedio y d) nopal hervido a una temperatura de 98°C. Siendo observada una mayor actividad antioxidante en la muestra b) teniendo un capacidad de atrapamiento de radical libre 73.91% a 1000ppm, seguido por las otras muestras mencionadas en orden decreciente, la muestra a) con 60 % a 1000ppm, la muestra d) con un 44% a 1000ppm y finalmente la muestra c) de 40% a 1000ppm.

Índice general

Índice de tablas.....	8
Lista de abreviaturas	12
1 Introducción	13
2 Generalidades.....	14
2.1 Taxonomía y clasificación.....	14
2.2 Morfología.....	15
2.2.1 Raíz	16
2.2.2 Areolas	16
2.2.3 Espinas	16
2.2.4 Tallos.....	16
2.2.5 Inflorescencias.....	16
2.2.6 Flor	16
2.2.7 Fruto	17
2.3 Composición química.....	17
2.3.1 Humedad.	18
2.3.2 Cenizas	18
2.3.3 Carbohidratos	19
2.3.4 Vitamina.....	19
2.3.5 Almidón.....	20
2.3.6 Celulosa.....	20
2.3.7 Fibra soluble.....	20
2.3.8 Ácidos orgánicos	22
2.3.9 Lípidos.....	22
2.3.10 Ceras.....	22
2.3.11 Saponinas	22
2.3.12 Resinas y aceites esenciales.....	23
2.3.13 Látex.....	24
2.3.14 Pigmentos.....	24
2.3.15 Compuestos fenólicos.....	24
2.3.16 Compuestos nitrogenados.....	24
2.3.17 Néctares.....	25

2.4	Aporte nutrimental	26
2.5	Normas Mexicanas e internacionales de calidad del nopal verdura	27
2.6	Producción de nopal a nivel global y estatal.	28
2.6.1	Global	28
2.6.1.1.1	Productores de nopal forrajero.....	29
2.6.1.1.2	Productores de nopal tunero.	30
2.6.1.1.3	Productores de nopal verdura	31
2.6.2	Estado de México	32
2.7	Usos de la especie <i>Opuntia ficus-indica</i>	33
2.7.1	Colorantes.....	33
2.7.2	Medio ambiente	34
2.7.3	Forraje	35
2.7.4	Pegamentos y adhesivos	36
2.7.5	Aplicaciones médicas de la especie <i>Opuntia Ficus-indica</i>	36
2.7.6	Alimentos	39
3	Conservación de alimentos.....	40
3.1	Métodos de conservación	41
3.1.1	Métodos físicos.....	41
3.1.1.1	Conservación mediante frio	41
3.1.1.2	Conservación mediante calor.....	41
3.1.1.3	Conservación mediante deshidratación.....	42
3.1.1.4	Conservación mediante irradiación.....	42
3.1.1.5	Conservación mediante alta presión	43
3.1.2	Métodos químicos	43
3.1.2.1	Medio seco	43
3.1.2.2	Medio líquido	43
3.1.3	Control de la atmósfera.....	44
3.1.4	Uso de aditivos	44
3.2	Relación de los antioxidantes con la salud.....	45
3.3	Interacción de los radicales libres con el organismo, medios de defensa y evaluación.	46
3.3.1	Radicales libres.....	46
3.3.2	Estrés oxidativo:	48
3.3.3	Defensa antioxidante	49
3.3.3.1	Sistemas de defensa primarios	50
3.3.3.2	Sistemas de defensa secundarios.....	51

3.3.4	Ingesta de antioxidantes.....	52
10.1.1	Flavonoides	55
10.1.1.1	Actividad antioxidante de los flavonoides	57
10.1.2	Flavonoides presentes en el nopal.....	58
10.1.3	Fármacos antioxidantes	59
10.1.4	Métodos de evaluación antioxidante.....	61
10.1.4.1	Método de ABTS.....	62
10.1.4.2	Método de DPPH.....	62
11	Justificación	64
11.1	Objetivo general	65
11.2	Objetivos particulares	65
11.3	Metodología	65
11.3.1	Material vegetal.....	65
11.3.2	Proceso de desinfección.....	65
11.3.3	Proceso de corte.....	65
11.3.4	Acondicionamiento de charolas.....	66
11.3.4.1	Determinación de posición.....	66
11.3.4.2	Determinación de tiempo.....	67
11.3.5	Ensayos con conservadores.....	67
11.3.6	Preparación de muestras.....	67
11.3.6.1	Pruebas de tratamiento pre deshidratado.....	68
11.3.7	Deshidratación.....	68
11.3.8	Tipo de molienda.....	68
11.4	Evaluación antioxidante.....	69
11.5	Resultados y discusión	70
11.5.1	Determinación de parámetros para la deshidratación de las muestras.....	70
11.5.1.1	Análisis y tipo de corte.....	70
11.5.1.2	Acondicionamiento de charolas	72
11.5.1.3	Determinación de posición de la muestra en el gabinete deshidratador	73
11.5.1.4	Determinación de tiempos.....	73
11.5.1.5	Tamaño de muestra.....	75
11.5.2	Deshidratación.....	76
11.5.3	Estudio comparativo de deshidratación con y sin conservadores.....	76
11.5.3.1	Muestras con conservadores	76
11.5.4	Búsqueda de molienda.....	77

11.5.5	Evaluación antioxidante.....	78
11.5.6	Pruebas de tratamiento pre deshidratado.....	78
12	Conclusión	80
13	Bibliografía	82

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica del género Opuntia</i>	15
Tabla 2 <i>Análisis del contenido de cenizas del género Opuntia Ficus-indica</i>	18
Tabla 3 <i>Carbohidratos presentes en la especie Opuntia Ficus-indica</i>	19
Tabla 4 <i>Datos del contenido porcentual de celulosa en muestras de la especie Opuntia, con variación seco y fresco</i>	20
Tabla 5 <i>Composición de la goma de nopal, perteneciente a la especie Opuntia fulgida</i>	21
Tabla 6 <i>Componentes químicos según la morfología del Opuntia Ficus-indica</i>	25
Tabla 7 <i>Valor nutritivo del nopal verdura (cantidad respecto a 100 gr de nopal crudo)</i>	26
Tabla 8 <i>Contenido de aminoácidos del Nopal crudo y nopal cocido</i>	27
Tabla 9 <i>Principales especies del género Opuntia utilizadas como nopal forraje en México</i>	35
Tabla 10 <i>Reacciones biológicas en las que participan los radicales libres</i>	47
Tabla 11 <i>Alimentos ricos en vitaminas con actividad antioxidante</i>	53
Tabla 12 <i>Alimentos con altos contenidos de antioxidantes polifenólicos</i>	54
Tabla 13 <i>Clasificación de los flavonoides según las variaciones en su estructura base</i>	55
Tabla 14 <i>Concentración de flavonoides en microgramo por gramo, en diferentes muestras de la especie Opuntia</i>	58
Tabla 15 <i>Efectos adversos del consumo de suplementos antioxidantes en exceso</i>	60
Tabla 16 <i>Variaciones de temperatura según la posición de las charolas deshidratadoras</i>	67
Tabla 17 <i>Porcentaje de materia seca según el tipo de corte</i>	71
Tabla 17 <i>Porcentaje de materia seca según el tipo de corte</i>	71
Tabla 19 <i>Promedio de temperatura según el sitio de estudio en el gabinete deshidratador</i>	73
Tabla 20 <i>Datos registrados de la variación de tiempos con respecto al porcentaje de masa seca posterior a la deshidratación de muestras con conservador</i>	74
Tabla 22 <i>Datos registrados de la variación de tiempos con respecto al porcentaje de masa seca posterior a la deshidratación de muestras sin conservador</i>	74
Tabla 24 <i>Datos registrados de la variación de medidas a diferentes muestras</i>	75
Tabla 25 <i>Datos registrados con respecto al porcentaje de masa seca en promedio obtenida con base a los experimentos</i>	77
Tabla 26 <i>Datos registrados de la Actividad antioxidante presente en las muestras tratadas por la técnica de DPPH</i>	78
Tabla 27 <i>Datos registrados con respecto a la actividad antioxidante presentada por muestras sometidas a un pretratamiento con calor húmedo y calor seco</i>	79

Índice de figuras

<i>Figura 1.- Opuntia ficus-indica. A) hábito; B) cladodio; C) aréola del cladodio; D) flor; E) espinas; F) inflorescencias; G) fruto. Adaptado de http://www.ibiologia.unam.mx/pdf/directorio/h/hernandez_hec/Opuntia_ficus.pdf</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.- Diagrama del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Creación propia a base de datos de Andrade L; García C. (2007).</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.- Estructura del β – sitosterol, creación propia en base a datos de J. Félix, 2016.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4.- Estructura general de una saponina, indicando el enlace entre la aglicona y el glucosídico, fuente de Andrés H. (2016).</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5.- Estructuras químicas simplificadas de los esteroides vegetales, presentan un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno en su estructura química básica, un grupo hidroxilo indicado en azul en la posición 3, la presencia del doble enlace indicado en verde para el caso del esteroide y la coloración rojiza en la figura indica la presencia de un grupo (o radical) químico que se añade a la estructura del esteroide o del estanol. Creación propia basada en datos de J. Félix, 2016.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6.- Diseminación a nivel global del nopal, creación propia adaptado de “Nopales, tunas y xoconostles” 2009.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7.- Top 8 de principales productores de nopal forrajero acorde a la cantidad de hectáreas producidas; creación propia en base a datos de María Judith Ochoa y Giuseppe Barbera (2018).30</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8.- Top 7 de principales productores de nopal tunero acorde a la cantidad de ha producidas; creación propia en base a datos de FAO (2019) y FAO (2018).</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9.- Principales productores de nopal verdura en el mundo; creación propia en base a datos de FAO (2019) y FAO (2018).</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10.- Top 10 en volumen de producción, principales entidades productoras de México, en la figura se muestran diferencias de tonalidad acorde a la posición de la entidad en el ranking, mientras más claro el tono menor es la posición. Creación propia adaptado de datos de SAGARPA, 2020.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11.- Estructura química del ácido carmínico. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific ®.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 12.- Estructura química de la Acarbosa, empleada como control para la determinación de actividad hipoglucemiante del nopal. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific ® ..37</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13.- Síntesis de ácidos biliares a partir de del colesterol por acción de la 7 alfa hidroxilasa, tras una segunda vía biosintética que se inicia a partir de colesterol en tejidos extrahepáticos por una reacción catalizada por la enzima esteroide-27-hidroxilasa, se forman intermediarios que luego son transformados en ácidos biliares en el hígado. Creación propia; adaptado de datos del IBC.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14.- Estructura química del β-sitosterol, fitoesteroide responsable de la actividad antiinflamatoria del nopal. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific ®.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15.- Vías de producción en exceso de radicales libres.....</i>	<i>47</i>

<i>Figura 16.- Formación de las especies reactivas de oxígeno (ERO), generadas por una reducción secuencial del oxígeno molecular. Creación propia en base a datos de (Desikan, 2005)</i>	48
<i>Figura 17.- Estructuras químicas de algunos compuestos fenólicos. Creación propia a base de Martin G., 2017.....</i>	53
<i>Figura 18.- Estructura química básica de 2-fenil-cromona, compuesta de un anillo dihidroxilados fenólicos en las posiciones 5 y 7, (denotado A), un segundo anillo fenólico generalmente mono hidroxilado, orto di hidroxilados o vic- tri hidroxilados (denota B), que también pueden contener grupos metoxi como sustituyentes y el anillo C, que puede ser un anillo heterocíclicos con oxígeno pirano, pirylium o de forma pirona. Creación en base a Martínez F; González G; M. Culebras; J. Tuñón, 2002.....</i>	55
<i>Figura 19.- Estructuras químicas de los flavonoides más comunes en la dieta. Creación propia adaptada de Moreno, 2011.</i>	56
<i>Figura 20.- Estructura química de la quercetina.....</i>	56
<i>Figura 21.- A la derecha se encuentra la formación del radical fla-vínico por la captura de radicales libres por parte de un polifenol, mientras que a la izquierda esta la reacción de Fenton. Adaptado de Martínez, 2012.</i>	57
<i>Figura 22.- Señalamiento de las disposiciones estructurales que imparten una mayor actividad antioxidante en los flavonoides. Creación propia en base a datos de Cartaya O., 2001.....</i>	57
<i>Figura 23.- Estructuras presentes en la cascara de Opuntia Ficus-Indica. Creación propia en base a datos de Moreno G., 2011.....</i>	58
<i>Figura 24.- Estructuras propuestas de flavonoides aislados del extracto etanólico de cladodios de Opuntia ficus-indica (L.) Mill. Adaptado de Gustavo A., 2017.....</i>	59
<i>Figura 25.- Mecanismo de reacción del DPPH con un agente antioxidante.</i>	63
<i>Figura 26.- Tipos de corte de la materia biológica</i>	66
<i>Figura 27.- Deshidratador marca Weston modelo 75-0201-W junio 2022.....</i>	68
<i>Figura 28.- Deshidratador marca Weston modelo 75-0201-W junio 2022.....</i>	68
<i>Figura 29.- Molino Manual Nixtamal.....</i>	69
<i>Figura 30.- Molino Manual Nixtamal.....</i>	69
<i>Figura 31.- Mortero de porcelana.....</i>	69
<i>Figura 32.- Mortero de porcelana.....</i>	69
<i>Figura 33.- Espectrofotómetro genesys 20, julio 2022</i>	69
<i>Figura 34.- Tabla 17 Porcentaje de materia seca según el tipo de corteEspectrofotómetro genesys 20, julio 2022.....</i>	69
<i>Figura 35.- Resultados obtenidos al someter la muestra a deshidratación por aire caliente, en un intervalo de una hora con variaciones en el tipo de corte, 2022.....</i>	71
<i>Figura 36.- Resultados obtenidos al someter la muestra a deshidratación por aire caliente, en un intervalo de una hora con variaciones en el tipo de corte, 2022.....</i>	71
<i>Figura 37.- Resultados de deshidratación en charolas adecuadas con M2. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6.5 mm.</i>	72

<i>Figura 38.- Resultados de deshidratación en charolas adecuadas con M2. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6.5 mm.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 39.- Resultados de deshidratación en charolas sin adecuar. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6 mm.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 40.- Resultados de deshidratación en charolas sin adecuar. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6 mm.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 41.- División por secciones de las charolas de forma ascendente en el gabinete deshidratador.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 42.- División por secciones de las charolas de forma ascendente en el gabinete deshidratador.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 43.- En la parte izquierda se encuentran las muestras antes del proceso de deshidratación, indicando los intervalos de tiempo a los cuales serán sometidas, en la parte derecha se puede apreciar el resultado de deshidratación que presentaron las muestras separadas por intervalos, a partir de las 3 hrs. Se presenta la deshidratación óptima. Escala de medida representa por las líneas A= 40.7 - 41 mm, B= 11.6 -11.8 mm.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 44.- En la parte izquierda se encuentran las muestras antes del proceso de deshidratación, indicando los intervalos de tiempo a los cuales serán sometidas, en la parte derecha se puede apreciar el resultado de deshidratación que presentaron las muestras separadas por intervalos, a partir de las 3 hrs. Se presenta la deshidratación óptima. Escala de medida representa por las líneas A= 40.7 - 41 mm, B= 11.6 -11.8 mm.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 45.- Muestra A) molienda obtenida mediante el uso del mortero, presenta una textura fina y con aroma herbal. Muestra B) molienda obtenida a través del molino de nixtamal, para generar cantidades similares se emplearon más gramos de materia vegetal deshidratada, las partes más grandes se excluyeron, sin embargo, aun presenta trozos que no se molieron bien.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 46.- Muestra A) molienda obtenida mediante el uso del mortero, presenta una textura fina y con aroma herbal. Muestra B) molienda obtenida a través del molino de nixtamal, para generar cantidades similares se emplearon más gramos de materia vegetal deshidratada, las partes más grandes se excluyeron, sin embargo, aun presenta trozos que no se molieron bien.</i>	<i>77</i>

Lista de abreviaturas

<i>Abreviaturas</i>	<i>Significado</i>
EtOH	Etanol
DPPH	Etanol + 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
Q	Quercetina
ND	Nopal deshidratado
NF	Nopal fresco
NA	Nopal asado
NH	Nopal hervido
NAD	Nopal asado deshidratado
NHD	Nopal hervido deshidratado
NV	Nopal con vinagre
INECC	Instituto Nacional de Ecología y cambio Climático
CAM	Metabolismo ácido de las Crasuláceas
HPP	Altas presiones hidrostáticas
P.M.	Posición de muestra

1 Introducción

El consumo de alimentos funcionales ha aumentado debido a que mejoran la salud humana, teniendo por entendido que un alimento funcional es considerado como todo aquel alimento que, además de su valor nutritivo, contiene componentes biológicamente activos que aportan algún efecto añadido benéfico y reducen el riesgo de contraer ciertas enfermedades (Beltrán, 2016). Se ha demostrado que estos alimentos ayudan en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares e inflamación (Kim, 2006; Riezzo, 2005; Shi y Mazza, 2002).

En la actualidad el consumo de nopal se ha extendido en la población debido a nuevos estudios que sacaron a la luz sus propiedades benéficas para la salud humana, ocasionando que México registre una tendencia hacia el incremento de la producción de nopal. En los últimos 10 años, en el país la superficie sembrada de esta hortaliza registró un incremento de sólo 2.6 por ciento, pero el volumen de producción aumentó 23 por ciento, lo que “nos indica que es un cultivo que también se ha tecnificado y mejorado su productividad” (Villalobos, 2020). De entre los municipios productores de nopal, el estado de Morelos se destaca como principal productor de nopal, aportando con el 30% de lo producido en el país.

Basándonos en la alta producción de nopal que presenta el estado de Morelos y contando con una zona productora cercana se decidió trabajar con los “nopalitos” específicamente del género *Opuntia Ficus-indica* cultivados en el pueblo de San Juan Tlacotenco, perteneciente al municipio de Tepoztlán, Morelos donde la mayoría de la gente cultiva gran parte de los productos que consumen o que venden fuera del poblado, en los que se destacan principalmente el nopal y agapando, productos que son cultivados en los tecorrales o en milpas retiradas del pueblo, situadas generalmente en el norte del pueblo (Rocha 2000). El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la evaluación antioxidante mediante el modelo DPPH del nopal originario de Tepoztlán en fresco y deshidratado, prestando atención en sus posibles usos alimentarios, por lo cual se realizó la optimización del proceso de deshidratado y la aplicación de posibles conservadores, comparando la actividad antioxidante que presentaba en sus diversas presentaciones desarrolladas.

2 Generalidades

Las cactáceas son especies endémicas del continente americano, según Bravo (1978) este tipo de flora se encuentra comprendida por tres subfamilias de plantas perennes: *Pereskioideae*, *Cactoideae* y *Opuntioideae*. Siendo esta última la ocupante del quinto lugar en diversidad, presentando alrededor de 55 géneros y 850 especies en el ámbito nacional (Rzedowski, 1983).

De entre los géneros que integran a la subfamilia *Opuntioideae* se encuentra el *Opuntia*, denominado coloquialmente como “nopal”. El término *Opuntia* fue validado en la publicación de Philip Miller en 1754, aunque fue acuñado por primera vez en 1700 por Joseph P. (Anderson, 2001), la opinión con respecto al surgimiento de dicho término difiere según el autor que se mencione, por ejemplo, acorde con Britton y Rose (1920) el término *Opuntia* hace referencia la zona de la antigua Grecia llamada “*Opus*” en la región de Leócrida, Beocia, en donde crecían ciertas plantas suculentas semejantes a cactus, mientras que en el caso de Bravo (1978) remonta el nombre a Plinio quien llamó *Opuntia* a una planta que florecía cerca de Opuns, India; así mismo Defelice (2004) propone que proviene del vocablo indio “*opun*”.

Independientemente de las raíces del nombre no se puede negar que este grupo es de los más grandes y diversos en México ya que este cuenta con cerca del 45% de esta especie, siendo un alto porcentaje de estas endémicas del lugar, esto es debido a que las cactáceas son principalmente abundantes en las zonas áridas y semiáridas.

El género *Opuntia* habita diversos ambientes de la nación mexicana, volviéndose en algunos casos parte dominante del paisaje ocupando extensas regiones de terreno, como es el caso de las nopaleras, las cuales son consideradas como parte de los ecosistemas más diversos de las zonas áridas o pueden estar representados de manera esporádica en casi todos los tipos de vegetación (Miranda y Hernández-X., 1963; Rzedowski, 1983; Mandujano, 1996; González-Espinosa, 1999); gracias a esta diversificación Glas (1998) afirma que se ha detectado muy comúnmente en la comercialización tanto a nivel nacional como internacional, en cuanto a la denominación como plantas silvestres. Sin embargo, acorde con Mandujano (1995) estos especímenes presentan un crecimiento muy lento en comparativa con otras, pero ha logrado presentar un rendimiento de vida longevo, encontrando especímenes que llegan a vivir más de 200 años.

2.1 Taxonomía y clasificación

La taxonomía del género *Opuntia* se encuentra sometida a una gran variación debido a su estado activo de evolución, ocasionado por la crianza selectiva de dicho género, resultando en un gran polimorfismo en este (Bravo, 1978). Según el instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC) las cactáceas del género *Opuntia* cuentan con más de 100 especies las cuales se encuentran clasificadas taxonómicamente según el sistema de Britton y Rose como sugiere la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación taxonómica del género Opuntia.

Clasificación taxonómica	
Reino	Vegetal
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Angioserma</i>
Clase	<i>Dicotiledoneae</i>
Subclase	<i>Dialipetalas</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Tribu	<i>Opuntíae</i>
Subfamilia	<i>Opuntioideae</i>
Genero	<i>Opuntia</i>
subgénero	<i>Platyopuntia</i>
Especie	Varios tipos

Nota: adaptado de Bravo- Hollis (1978).

Según las clasificaciones la subfamilia *Opuntioideae* es la segunda más extensa en México según Hunt(1999) y Anderson (2001) se estima que cuenta con entre 191 a 215 especies. Se encuentra integrada por cuatro géneros: *Grusonia*, *Peresklopsis*, *Cylindropuntia* y *Opuntia sensu lato*; acorde a Nyffeler y Egli, (2010) este último se volvió a dividir por lo que se conoce como *Opuntia Sensu Stricto (Opuntia s.s.)* o *Platyopuntia* según Britton y Rose (1920). De entre los cuatro géneros el *Cylindropuntia* y *Platyopuntia* constituyen a las plantas denominadas comúnmente como las choyas y los nopales (Bárcenas, 2011), siendo este último el más diverso y representativo (Anderson, 2001).

2.2 Morfología

La morfología y fisiología que presentan las cactáceas varía entre especies, sus características se han obtenido mediante una adaptación evolutiva a los medios áridos y semiáridos donde las temperaturas son extremas y la escasez de agua es algo rutinario. (Bravo 1978). Es debido a la extensión de estas características que a continuación se presenta de forma resumida la morfología que presenta del nopal (Figura 1), dichos datos fueron recopilados por Norman Boke (1950) quien posteriormente fue citado por Bravo (1978) y se encuentran en conjunto con información perteneciente a estudios del INECC.

2.2.1 Raíz

El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caduceos, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves períodos de lluvias (INECC).

2.2.2 Areolas

Las aréolas son órganos característicos de las cactáceas, que se dividen en es-piníferas o vegetativas las cuales producen pelos, cerdas, espinas, lana, y las floríferas que pueden formar como su nombre lo dice flores, además de hojas reducidas, nuevos tallos, cerdas, lana, espinas glóquidas, pelos y a veces raíces adventicias. En el caso de la subfamilia *Opuntioideae* presenta areolas minúsculas elípticas, del tipo floríferas en las que mayormente se encuentran espinas glóquidas.

2.2.3 Espinas

Según investigaciones anatómicas sobre el proceso de formación de las espinas estas son consideradas como una modificación evolutiva de las hojas. De acuerdo con Bravo (1978) en el género *Opuntia* es posible observar estados de transición entre hojas y espinas, ya que estas comparten un proceso de formación similar, siendo diferenciadas porque las espinas acaban presentando una disposición bilateral. Este género muestra espinas defensivas, delgadas, pequeñas y rígidas, agrupadas en gran número denominadas como glóquidas o “aguates” las cuales cuando se tocan penetran en la piel fácilmente y se extraen con dificultad.

2.2.4 Tallos

La especie *Opuntia* puede presentar diferenciaciones en su tallo, siendo del tipo arbustivo cuando este se encuentra bien definido y rastrero cuando se carece de él, según reportes de la Universidad de Málaga la especie, llega a medir hasta 5 m de altura con un tronco cilíndrico de 35 cm de diámetro, leñoso con los años. Las ramas son aplanadas y discoides denominados como cladodios.

2.2.5 Inflorescencias

En las cactáceas existen ramas especializadas para producir flores, denominadas como inflorescencias, la estructura de estas es características de cada especie, sin embargo, estas estructuras han sufrido una reducción debido a su adaptación al medio ambiente carente de agua.

2.2.6 Flor

Las flores de la especie presentan colores brillantes y llamativos, son diurnas y se encuentra bien formadas constan de un cáliz con tubo oval, soldado con el ovario y con el limbo, muchos pétalos, numerosos estambres persistentes, con los filamentos largos, coloridos y anteras longitudinalmente dehiscentes; un pistilo grueso y tubuloso digitado en su extremo formando varios lóbulos estigmáticos. De igual forma estas se han visto afectadas por la evolución reductiva debido al ambiente donde se desarrollan, afectando su tamaño y número.

2.2.7 Fruto

En las especies de *Opuntia* el fruto es una baya ovoide, cilíndrica, la cual cuenta con algunas espinas glóquidas, su coloración presenta variaciones de entre tonos verdosos, amarillos, naranjas, rojizos y púrpuras, crece en el extremo superior de los cladodios, debido a la presencia de azúcares la pulpa de los frutos es dulce, el pericarpelo puede ser carnoso como el de las "tunas" y "xoconoxtles", o seco como el de algunas especies de *Cylindropuntia*.

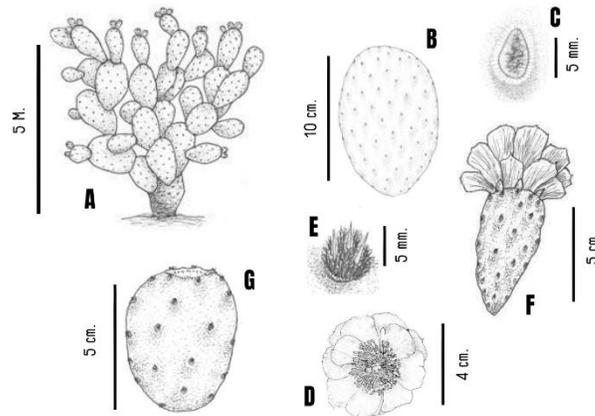


Figura 1.- *Opuntia ficus-indica*. A) hábito; B) cladodio; C) aréola del cladodio; D) flor; E) espinas; F) inflorescencias; G) fruto. Adaptado de http://www.ibiologia.unam.mx/pdf/directorio/h/hernandez_hecl/Opuntia_ficus.pdf

2.3 Composición química

El dominio que presentan las cactáceas para desarrollarse en las zonas áridas y semiáridas se debe en gran medida a que son especies que poseen un proceso metabólico ácido de las Crasuláceas (CAM). Dicho metabolismo les permite desarrollar la fotosíntesis en dos fases como se muestra en la figura 2, primero se abren las estomas para absorber CO_2 , el cual en el citosol se une al fosfoenolpiruvato (PEP) un compuesto de 3 carbonos a través de la PEP carboxilasa. Esta enzima cataliza la formación de oxalacetato, el cual puede ser transformado en malato por la NAD^+ malato deshidrogenasa (Paolo Inglese, 2018). Para evitar la inhibición, el malato es transportado activamente del citosol a la vacuola, para posteriormente ser usado durante la fase de luz donde el ácido málico vuelve a convertirse en CO_2 , el cual es asimilado por los cloroplastos por el ciclo de Calvin-Benson, conduciendo a la síntesis de almidón y otros glucanos. (Andrade L.; García C. 2007).

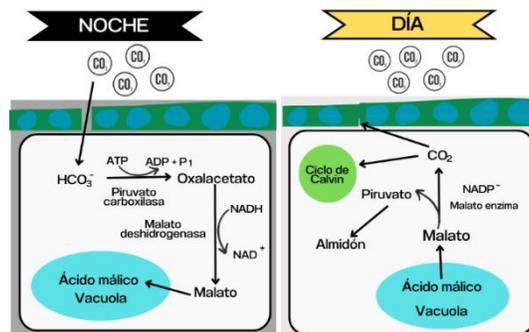


Figura 2.- Diagrama del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Creación propia a base de datos de Andrade L; García C. (2007).

Debido a lo anterior las cactáceas generan diferentes compuestos orgánicos, los cuales comprenden la composición química de esta; así mismo esta composición varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie. (Deysi G. y Jorge C., 2007).

2.3.1 Humedad.

El contenido de humedad presente en las cactáceas difiere entre sus diversos géneros, así como en cada especie dependiendo de la relación de la humedad del suelo y a la disponibilidad del agua en éste. Acorde con el estudio realizado por Fernández Landero y Oliver (1949), en seis muestras de nopales, se indica que los valores de humedad oscilan entre el 79 % y el 94 % para la materia biológica recogida en temporada de lluvias mientras que las muestras secadas al sol mostraron una variación desde 6.46 %.

2.3.2 Cenizas

El contenido de cenizas es variable entre las cactáceas, depende de la composición química del suelo y de los fenómenos mediante los cuales la planta dispone de sus nutrientes que a su vez se relacionan con la acidez, salinidad, conductividad, grado de ionización, humedad y textura del suelo (Bravo-Hollis, 1978; Granados y Castañeda, 1996). Los principales minerales encontrados en las cenizas son calcio y potasio y en menor cantidad magnesio, sílice, sodio, hierro, aluminio y manganeso. Estos minerales se encuentran en forma de carbonatos, cloruros, sulfatos o fosfatos (Granados y Castañeda, 1996). Según Bravo-Hollis (1978), la importancia del estudio de cenizas en el nopal radica en que la planta es utilizada como alimento para ganado. Fernández-Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978), encontró en un estudio de seis especies de nopal del Valle de México (tabla 2) un contenido de cenizas entre 1.03 y 4.05% en base húmeda, y entre 13.67 y 21.05% en base seca.

Tabla 2

Análisis del contenido de cenizas del género Opuntia Ficus-indica.

Compuesto	Contenido (%)
<i>SiO₂</i>	1.62
<i>CaO</i>	22.55
<i>K₂O</i>	21.06
<i>MnO</i>	0.12
<i>MgO</i>	6.05
<i>Na₂O</i>	1.28
<i>CO₂</i>	39.08
<i>SO₄</i>	2.95

<i>Cl</i>	2.64
<i>P₂O₅</i>	1.25
<i>R₂O₃</i>	0.91

Nota: Adaptado de Landero y Oliver (1949), citado por Bravo-Hollis (1978)

2.3.3 Carbohidratos

El alto contenido de azúcares en los frutos de las cactáceas hace que sean muy gustados y objeto de activo comercio; acorde a Landero (1949) los azúcares en el género *Opuntia* varían entre 2 y 10 %, los componentes que más influyen en la presencia de estos azúcares son las lluvias, estación del año, principalmente. La mayor porción de los azúcares está constituida de polisacáridos; pentosas casi en su totalidad y almidón (tabla 3). Presentan pequeñas cantidades de disacáridos (sacarosa) y de monosacáridos (arabinosa y glucosa).

Tabla 3

Carbohidratos presentes en la especie Opuntia Ficus-indica.

Carbohidratos	Contenido (%)
Azúcares totales	2.24
Polisacáridos totales	1.94
Disacáridos totales	0.23
Monosacáridos totales	0.08
Hexosas totales	0.31
Hexosas polisacáridos	0.01
Hexosas monosacáridos	0.052
Pentosas totales	1.93
Pentosas monosacáridos	0.036
Pentosanos	1.88
Carbonatos urónicos	0.72

Nota: Adaptado de Landero y Oliver (1949)

2.3.4 Vitamina

Las vitaminas son sustancias orgánicas necesarias para el organismo las cuales son sintetizadas mayormente por el organismo en cantidades diversas o están presentes en pequeñas cantidades en alimentos. Loayza y Chávez (2007) realizaron un estudio bromatológico donde comparan el porcentaje de vitamina C en cladodios de diferente edad, obteniendo una variación de 14.16 mg/100g del contenido de ácido ascórbico siendo mayoritaria su presencia en cladodios de un mes (37.27 mg) en comparativa con los de un año.

Los contenidos nutrimentales del nopal varían de acuerdo con la especie y al grado de madurez de esta, los nopales más jóvenes presentan mejores características nutrimentales independientemente de la especie (Ramírez, Reyes, Pinos y Aguirre, 2007). De igual forma la especie *Opuntia* puede tener mayor cantidad de vitamina C que manzanas, peras, uvas y plátanos (Yahia y Mondragón, 2011).

2.3.5 Almidón

El almidón constituye la principal reserva nutritiva hidrocarbonada de las plantas superiores. En las cactáceas se le encuentra en algunas raíces, en los tallos y en algunas semillas bajo la forma de diminutos granos cuyo aspecto y dimensiones varían según las diversas especies (Fernández Landero 1949).

2.3.6 Celulosa

En las cactáceas la celulosa en conjunto con la lignina y hemicelulosa remanente, conforman la fibra insoluble de dichas plantas, las concentraciones de celulosa varían considerablemente entre especies (Bravo- Hollis, 1978). Landero y Oliver (1949) realizaron estudios con respecto al contenido porcentual de celulosa en diferentes muestras del género *Opuntia* en base fresca y seca, determinando variaciones de 1- 3 % de fibra cruda en las muestras sienta la especie *O. Ficus-indica* la de mayor porcentaje (Tabla 4), datos similares a los arrojados por el estudio de Hurdison (1925) de un porcentaje de 37.43% de celulosa.

Tabla 4

Datos del contenido porcentual de celulosa en muestras de la especie Opuntia, con variación seco y fresco.

Especie	Fibra cruda fresca	Fibra cruda seca
<i>O. Ficus-indica</i>	2.94 %	37.34 %
<i>O. Hyptiacantha</i>	1.29 %	13.13 %
<i>O. Tomentosa</i>	2.28 %	11.75 %
<i>O. Megacantha</i>	1.91 %	19.10 %
<i>O. Robusta</i>	1.62 %	21.21 %

Nota: Adaptado de Landero y Oliver, 1949

2.3.7 Fibra soluble

Entre las sustancias heterogéneas presentes en las cactáceas encontramos los mucílagos, pectinas y glúcidos, que componen a la fibra soluble de la planta (Hernández, 2000).

Las gomas, conocidas comúnmente como “gomas de nopal”, son exudadas por las cactáceas en su proceso de reparación y cicatrización, contienen azúcares y colorantes, siendo común la coloración negruzca de estas. Una de las gomas más estudiada es la exudada por la especie *Opuntia fulgida* (Bravo-Hollis, 1978), su composición fue determinada mediante estudios realizados por Sands y Klaas (1929), Díaz (1931) y Brown (1949), sido citados los datos por Bravo (1978).

Tabla 5

Composición de la goma de nopal, perteneciente a la especie Opuntia fulgida.

Sustancia	Contenido
Ácido D-galacturónico	8%
L-Arabinosa	40 %
D-Xilosa	25 %
D-Galactosa	20%
L-Ramnosa	7 %

Nota: El contenido porcentual esta referido a un peso aproximado de 13×10^6 g/mol.

Fuente; adaptada de Sarahí Rodríguez (2011)

Los mucílagos provienen de las células especializadas del parénquima, son sustancias análogas a las gomas, las cuales presentan una enorme facilidad de absorber agua, siendo de suma importancia en el mecanismo de retención de agua de las cactáceas (Bravo- Hollis, 1978). En los resultados expuestos por Landero (1949) se encuentra una variación entre el 1.09% y el 4.53% del contenido de mucilago en la especie *Opuntia Ficus-indica*, el cual se encuentra comprendido glucosa y arabinosa, principalmente, datos citados por Bravo (1979).

Las pectinas mayormente concentradas en los frutos de las cactáceas presentan un alto valor en el sector industrial de alimentos, mayormente en la confitería, en estudios realizado por Toral (1955), citados por Bravo (1978), se encontraron un promedio del 0.9% de pectina en especies de nopales del Valle de México; así mismo en otros estudios realizados por Villarreal (1973), se determinó que la especie *Opuntia Ficus-indica* presenta 1.91% y 13.84 % de pectina total en base húmeda y base seca correspondientemente. Los glucósidos son compuestos formados por la combinación de un azúcar con una o más sustancias distintas, en general residuos metabólicos frecuentemente aromáticos. En las cactáceas se han encontrado glucósidos que poseen propiedades tónicas para los órganos cardiovasculares (Bravo- Hollis 1979).

2.3.8 Ácidos orgánicos

En las cactáceas se encuentran diversos ácidos orgánicos, siendo el ácido oxálico el más abundante, debido a su formación a través del proceso metabólico de estas, encontrado como su sal de calcio. Según Schimper (1888) citado por Bravo (1978) una de las principales funciones que presenta el calcio en las cactáceas es precipitar el ácido oxálico para evitar el daño que se pueda generar en las plantas. De igual forma encontramos ácido cítrico en estado libre (Bravo- Hollis, 1978).

2.3.9 Lípidos

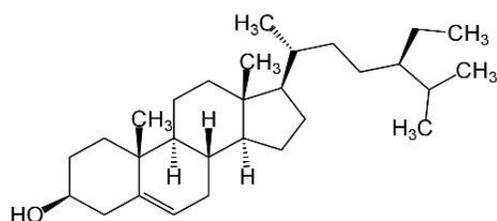
La presencia de ácidos grasos en las cactáceas se encuentra centrada en las semillas de estas, sin embargo, solo se encuentran en concentraciones mínimas, Fernández Landero (1949) indica que el contenido de grasas en las pencas de los *Opuntias* varía del 0.11% al 0.3%. Con respecto a la composición de los ácidos grasos en las semillas, según Aguilar (1997) citado por Melgoza Hernández (2000) las especies de *Opuntia joconostle*, *O. tomentosa*, *O. ficus-indica*, *O. amyclaea* y *O. robusta* presentaron ácido linoleico en porcentajes mayores al 70%, ácido oleico arriba del 11%, ácido palmítico superior al 9%, ácido esteárico mayor de 1.8% y en ácidos mirístico y palmitoleico el porcentaje fue menor al 1%.

2.3.10 Ceras

Las ceras se encuentran como capas protectoras de los tallos y frutos de las cactáceas, juegan un papel fundamental en la retención de humedad, siendo más abundantes en las partes jóvenes de los tallos (Bravo-Hollis, 1978).

2.3.11 Saponinas

Las saponinas son glúcidos, sin propiedades cardiovasculares, solubles en agua con capacidad para disminuir la tensión superficial y generar sustancias jabonosas. Al hidrolizar las saponinas se forman carbohidratos (usualmente son glucosa, arabinosa, ácido úrico, xilosa y ramnosa), y una aglicona llamada sapogenina de origen terpénico, esteroidal o esteroidal alcaloide (D. Puentes y L. Nelly, 2009) como se puede observar en la figura 3. Según el estudio realizado por Cornejo, Fernández, Patakfalvi y Rosas-Saito (2017) la presencia de saponinas en las cactáceas se detecta en los extractos más polares del tallo y raíz, las cuales ya sean esteroidales o terpenoides, son sintetizadas a partir de la vía de los isoprenoides. Según estudios realizados por Djerassi (1957) se encontraron 18 triterpenos en diferentes especies de cactáceas, los triterpenos (30 átomos de carbono) son compuestos naturales que se construyen a partir de seis unidades de isopreno (A. Cano, 2013).



Beta-Sitosterol

Figura 3.- Estructura del β – sitosterol, creación propia en base a datos de J. Félix, 2016

Para el caso del género *Opuntia ficus-indica* se presenta el β – sitosterol (figura 4), su estructura es similar al colesterol que se produce de forma natural en la piel y se considera parte de la matriz intercelular (M. Cofan, 2014).

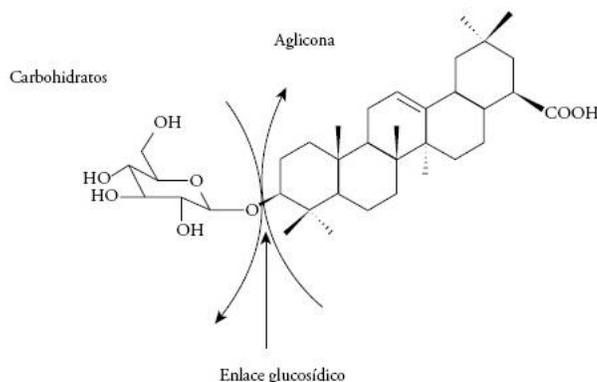


Figura 4.- Estructura general de una saponina, indicando el enlace entre la aglicona y el glucosídico,

Los fitoesteroles son esteroides vegetales miembros de la familia de los triterpenos, los cuales son sustancias constituyentes de las membranas celulares, sirven como precursores para una variedad de productos con actividades biológicas específicas y también de ellos derivan los ácidos biliares que actúan como detergentes de las grasas de la dieta en el intestino para que estas sean más fácilmente accesibles a las lipasas digestivas y continúe así el proceso de absorción (J. Félix, 2016). Todos los esteroides vegetales tienen un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno en su estructura química básica, presentan un grupo hidroxilo en posición 3 e incluyen un grupo metilo o etilo en el carbono 24 que los diferencian del colesterol (J. Félix, 2016). Dentro del grupo de los esteroides vegetales encontramos 2 categorías: los esteroides, que tienen un doble enlace en posición 5, y los estanoles, que no tienen este doble enlace (M. Cofan, 2014), como se muestra en la figura 5.

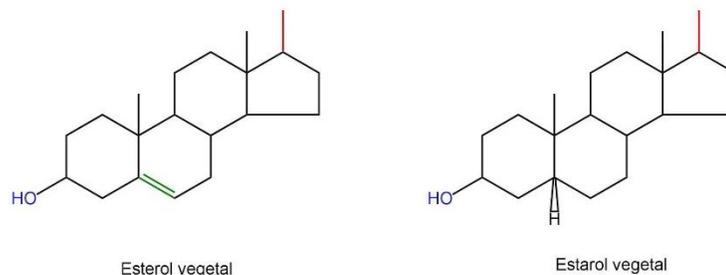


Figura 5.- Estructuras químicas simplificadas de los esteroides vegetales, presentan un núcleo ciclopentanoperhidrofenantreno en su estructura química básica, un grupo hidroxilo indicado en azul en la posición 3, la presencia del doble enlace indicado en verde para el caso del esteroles y la coloración rojiza en la figura indica la presencia de un grupo (o radical) químico que se añade a la estructura del esteroles o del estanol. Creación propia basada en datos de J. Félix, 2016.

2.3.12 Resinas y aceites esenciales

Los aceites esenciales se encuentran en las flores y concentrados principalmente en las semillas. Para la extracción se requiere alrededor de ½ tonelada para producir un litro de aceite, debido a que la semilla contiene el 5 % de aceite (Tejeda, 2015). De igual forma las resinas se encuentran en muy que pequeñas cantidades son compuestos isoprenoides análogos a los aceites esenciales.

2.3.13 Látex

El término látex se usa en sentido muy amplio para designar a ciertos líquidos existentes en las plantas cuya apariencia lechosa es debida a la suspensión de muchas partículas finas en un medio de dispersión líquida. (Velázquez Trejo, 2015). Esta sustancia la contienen las cactáceas en las células y canales lactíferos (Melgoza H., 2000). El látex del género *Opuntia* físicamente presenta dos estados: en forma de un gel viscoso, pegajoso y de un color crema adquirido durante el flujo, que al estar en contacto con el medio pasa al estado sólido en forma de grumos gomosos de tonalidad color amarillo pálido a ligeramente ámbar, el cual sirve como cicatrizante (P. Torres y L. Cedillo, 2015). Largo (1920) experimentó con el látex de dos variedades de *Opuntia*, siendo una de ellas el cultivo sin espinas producido por Burbank®, según Long (1920), este látex, previo tratamiento y refinamiento, produce un hule, similar al del guayule en lo referente a sus propiedades, de muy buena calidad. Acorde con Konno, 2011, el látex contiene varias sustancias en solución y suspensión coloidal, entre las que se incluyen carbohidratos, ácidos orgánicos, sales, esteroides, grasas y mucílagos. Son comunes también los terpenoides (cis-1, 4 poliisoprenos) y gomas, aunque otras sustancias pueden estar presentes, tales como glicósidos cardíacos, alcaloides, azúcares, proteínas y taninos.

2.3.14 Pigmentos

Los pigmentos de las cactáceas se encuentran divididos en carotenoides, cloro-filoides, carotenoides y fenólicos, de entre los cuales se destaca la clorofila como su principal pigmento el cual se encarga del proceso de absorción de energía lumínica y transformación en energía química, para sustentar su vida. Por su parte los carotenoides incluyen dos grupos: los carotenos y sus derivados las xantofilas, la carotina es un precursor de la vitamina A el cual se encuentra como principal constituyente en las hojas y los tallos de las cactáceas. Los pigmentos fenólicos son aquellos que les brindan color a las flores, podemos encontrar betacianinas, hexaxantinas y flavonol (Bravo- Hollis, 1978). La coloración de las cactáceas se ve afectada no solo por los pigmentos que contiene, sino que también por factores climáticos y los sustratos del suelo (Bravo- Hollis, 1978).

2.3.15 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos encontrados en las cactáceas se dividen en polímeros fenólicos y compuestos de dos anillos aromáticos, dentro de los primeros se encuentran los taninos, los cuales según Badui (1994), son los responsables de la astringencia de los frutos inmaduros. Los compuestos fenólicos de dos anillos incluyen a los flavonoides, los isoflavonoides, las benzalcumarinas y los rotenoides, Domínguez (1969), encontró Kampferol y quercetina en cactáceas, Paris (1951) también citado por Bravo (1978), encontró un compuesto fenólico flavonolósido en la especie *Opuntia vulgaris*.

2.3.16 Compuestos nitrogenados

Según Bravo (1978), los compuestos nitrogenados encontrados en las cactáceas son aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos y alcaloides. Landero (1949) demostró que el mayor porcentaje de proteína se encontraba en los tallos especialmente los jóvenes, presentando una diferencia mayor al 3% con respecto a sus contrapartes adultas.

Serna (1998) realizó un estudio donde se encontraron 17 aminoácidos en la especie *Opuntia Ficus-indica* de los cuales 8 eran aminoácidos esenciales, sin embargo, también concluyó que la absorción de la proteína que presentan las cactáceas es pobre en comparativa con otras fuentes.

2.3.17 Néctares

Los néctares son una mezcla de sacáridos y aceites esenciales, importantes para la polinización ya que atraen, insectos y aves. Se presentan como sustancias exudadas por órganos especializados en las cactáceas, las cuales dependiendo del caso se cristalizan y recubren los frutos. La posición y el desarrollo de estos órganos varía entre especies, se pueden encontrar en forma tubular o de una cámara abierta o cerrada (Bravo-Hollis, 1978). Acorde a Jorge Alonso en el libro Fitofármacos y nutraceuticos (2007) y X. Aparicio (2017), podemos encontrar que los componentes químicos que presenta el nopal (*Opuntia ficus-indica*) varían según su morfología, siendo estos mencionados en la Tabla 6.

Tabla 6

Componentes químicos según la morfología del Opuntia Ficus-indica

Partes	Componentes
Fruto	▪ Pectina (5%)
	▪ Taninos
	▪ Carotenoides
	▪ Betalaínas totales (32,44 mg/100g)
	▪ Vitamina
	▪ Ác. Cítrico
	▪ Sales minerales entre 0.3-1% (calcio, fosforo, potasio, sodio)
	▪ Sucralosa, fibra (12-17%)
	▪ Alfa-amirina, metilésteres del ácido málico y cítrico.
	➤ Flavonoides (10.16 mg/g)
Flores	➤ Antociánicos
	➤ Isoramnetina (flavonoide)
	➤ Mucílagos.
Tallo	• La piel o cubierta del tallo contine esencialmente glucosa (21%).
	• La concentración de proteínas es del 5.1% (pulpa), 8.3% (piel) y 11.8% (semillas).
	• Las fibras de la pulpa son ricas en pectina (14.4%), en cambio la piel y las semillas lo son en la celulosa (29.1% y 45.1 %) respectivamente.
	• La piel es rica en potasio (3.4%) y calcio (2.09%)

Nota: Fuente: Jorge A, Pág. 769 (2007) y X. Aparicio, págs. 219-244 (2017)

2.4 Aporte nutrimental

El nopal verdura es un alimento típico altamente consumido en la cultura mexicana especialmente en familias de escasos recursos pertenecientes a las zonas áridas del país (INECC,2007), debido a su amplia distribución en el territorio.

Tabla 7

Valor nutritivo del nopal verdura (cantidad respecto a 100 gr de nopal crudo)

Nutriente	Contenido
Proporción comestible	78 %
Energía	27.00 kcal
Proteínas	7.86 g
Grasas	0.30 g
Carbohidratos	5.60 g
Calcio	93 g
Hierro	1.60 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.06 mg
Niacina	0.03 mg
Ácido ascórbico	8 mg
Humedad	90-92.5 %
Extracto etéreo	1.81
Fibra cruda	5.69
Fibra dietética total	42.80
Extracto libre de nitrógeno	62.14

Nota: Fuente: adaptado del INECC (2007) y Serna (1998)

Como se mencionó, cuenta con 17 aminoácidos (AA) los cuales varían en concentración con respecto a si se consume crudo o cocido como se observa en la tabla 8. De igual manera Serna (1998) reporta la disminución en la concentración de otros compuestos presentes en el nopal tales como la fibra dietética total, cenizas y el extracto etéreo, mientras que los compuestos como las proteínas, fibra cruda y azúcares aumentan. A pesar del aumento que presenta la proteína debido a su concentración ocasionada por el tratamiento térmico Serna (1998) determinó con un estudio previo donde alimentaba a ratas exclusivamente con nopal, que la absorción de la proteína es muy baja y por ende la calidad de la proteína del nopal es mala debido a su baja digestión.

Tabla 8

Contenido de aminoácidos del Nopal crudo y nopal cocido.

Aminoácido	Gramos de AA nopal crudo	Gramos de AA nopal cocido
Ác. Aspártico	10.1	9.68
Treonina	5.05	4.85
Serina	5.81	5.34
Ac. Glutámico	14.40	13.11
Prolina	6.14	5.82
Glicina	5.04	5.45
Alanina	7.43	6.96
Cistina	1.51	1.50
Valina	5.82	6.23
Metionina	1.75	1.95
Isoleucina	4.57	5.18
Leucina	9.22	9.043
Tirosina	4.31	4.48
Fenilalanina	5.02	3.85
Histidina	2.23	2.38
Lisina	6.69	7.24
Arginina	5.67	6.09

Nota: Fuente: adaptado de Serna (1998)

2.5 Normas Mexicanas e internacionales de calidad del nopal verdura

La existencia de normas de calidad en general y específicamente es conveniente para productores, comercializadores y consumidores, pues con ello los intercambios comerciales tienden a ser más justos, aunque esto en la realidad se encuentra sesgado por los volúmenes ofertados y demandados, es decir por la ley de la oferta y la demanda. Para la comercialización de nopal verdura existen dos normas: La Norma Oficial Mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 Hortaliza fresca-Nopal verdura (*Opuntia spp.*) especificaciones y La Norma internacional Codex Stan 185-1993 (José rodrigo, 2006).

La NMX-FF-068-SCFI-2006 establece las condiciones y características con las que debe cumplir el nopal verdura de los géneros *Opuntia spp.* y *Nopalea spp.* destinados para el consumo humano que se comercializan en el territorio mexicano. En base a la NMX-FF-068-SCFI-2006 algunas de las especificaciones resumidas son:

-
1. Descripción del producto: Se considera apto para consumo al nopal tierno o brote de 7 cm de longitud en adelante y que presenta cutícula delgada y el color característico de la variedad, con un contenido de agua mayor al 90 %.
 2. Envase y etiquetado: Define los requisitos para los recipientes metálicos utilizados para envasar los alimentos enlatados, incluyendo su tamaño, tipo, calidad y hermeticidad. También establece las especificaciones para la etiqueta del producto, que debe incluir información obligatoria como el nombre del producto, lista de ingredientes, contenido neto, información nutricional, identificación del fabricante y código de barras, entre otros.
 3. Calidad y seguridad: El producto enlatado, debe encontrarse libre de microorganismos al momento del empaque, puede presentar daños biológicos, daños por manejo y climáticos en un área de 0.5% - 1 % de la superficie del nopal, las deformaciones son aceptadas en un máximo de 3% por unidad de empaque.
 4. Muestreo y análisis: Para verificar si un lote cumple con la especificación física establecida en esta norma, la determinación correspondiente debe realizarse conforme a la determinación del tamaño para nopal verdura con base en su longitud.

Por otro lado, el Codex Stan 185-1993 se basa en las regulaciones para las variaciones comerciales del género *Opuntia* las cuales son: *Opuntia ficus indica*, *O. Tomentosa*, *O. hyptiacantha*, *O. robusta*, *O. inermis*, *O. undulata*. En base al Codex Stan 185-1993 algunas de las regulaciones que se mencionan son:

1. Descripción del producto: Los nopales deberán presentar la forma, color, sabor y olor característicos de la especie, estar sanos y libres de cualquier materia externa visible. Se clasifican en tres categorías
2. Envase y etiquetado: Las especificaciones para la etiqueta del producto, que debe incluir información obligatoria como el nombre del producto, lista de ingredientes, contenido neto, información nutricional, identificación del fabricante, código de barras y Marca de Inspección Oficial (facultativa) entre otros.
3. Calidad y seguridad: El producto enlatado, debe encontrarse libre de microorganismos, pueden presentar defectos leves de forma, color, de la piel sin superar el 5% del área total. Se tolera el 10%, en número o en peso, de los nopales que no satisfagan los requisitos previos.

Estas variaciones comerciales se suministran frescas al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. Excluyendo a los nopales destinados a la elaboración industrial (José rodrigo, 2006).

2.6 Producción de nopal a nivel global y estatal.

2.6.1 Global

El nopal una planta nativa de las zonas semiáridas de altiplanicie central de México introducida inicialmente al resto del mundo como una curiosidad desde el siglo XXI, ha recibido atención especial por los gobiernos, organismos no gubernamentales y productores, gracias a su adaptabilidad y alta productividad en zonas áridas (FAO, 2019).

En la actualidad los nopales son ahora parte del entorno natural y de los sistemas agrícolas y se considera que *O. ficus-indica* es la cactácea de mayor valor económico en el mundo (ONUAA e ICARDA, 2018), acorde con la FAOSTAT 2020 ya se cuenta con registros de cultivo y cosecha de especies de nopal, en países de América (Estados Unidos, Perú y Chile), Europa (España e Italia), África (Marruecos, Etiopía, Argelia, Túnez, Sudáfrica, India y Egipto) y Asia (Japón, Taiwán y Corea), como se muestra en la Figura 6.

Diseminación del nopal en el mundo.



Figura 6.- Diseminación a nivel global del nopal, creación propia adaptado de “Nopales, tunas y xoconostles” 2009.

Así mismo se puede denotar que el nopal está presente en regiones áridas y semiáridas del mundo no solo en una condición cultivada, sino que también se presentan de naturaleza silvestre. Con forme a esto el Sistema de Información Agropecuario (SIAP) para el caso del Nopal se reconocen tres categorías, Nopal Verdura (nopalito), Nopal Forrajero, Nopal Tuna. A lo largo de los años los diversos países que cuentan con cactáceas han incursionado en sus usos y aplicaciones logrando distinguirse en ciertas áreas productivas como se muestra a continuación (SAGARPA, 2015).

2.6.1.1.1 Productores de nopal forrajero.

Las principales especies de nopal usadas para forraje incluyen *Opuntia ficus-indica* Mill., y *Nopalea cochellinifera* SalmDyck., que poseen varias variedades disponibles en diferentes países. El nopal forrajero es empleado para alimentar ganado caprino, bovino, ovino y porcino, así como aves de corral y conejos, debido a su alto contenido de agua y la presencia de vitaminas, es una fuente alternativa de forraje empleada en zonas áridas o durante temporadas de sequía (Dubeaux, 2015).

Existen reportes del uso exitoso del nopal como alimento animal en países como Brasil y México, así como Sudáfrica y Túnez, usualmente soportados por programas fuertes de investigación y extensión, sin embargo, el potencial del nopal permanece insuficientemente explotado(ONUAA e ICARDA, 2018). Los principales países que producen este tipo de nopal se encuentran mencionados en la Figura 7.

Productores de nopal forrajero a nivel mundial

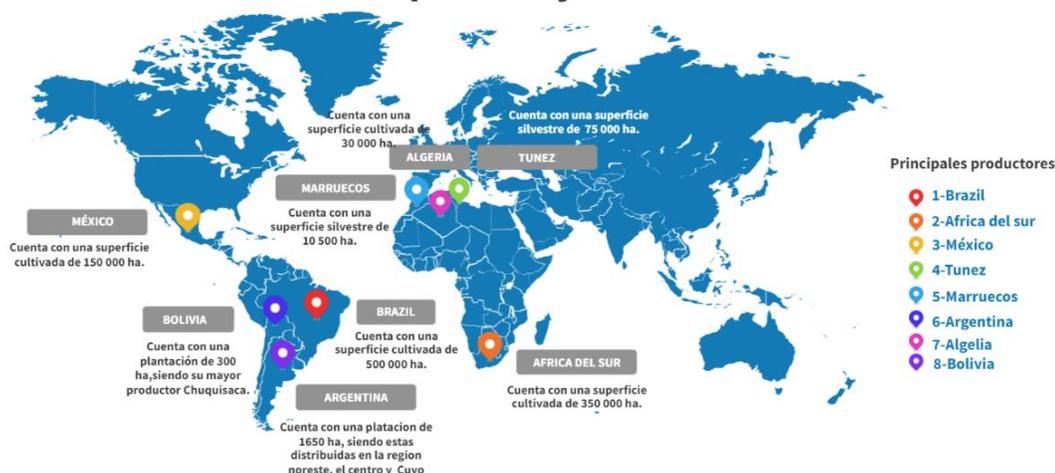


Figura 7.- Top 8 de principales productores de nopal forrajero acorde a la cantidad de hectáreas producidas; creación propia en base a datos de María Judith Ochoa y Giuseppe Barbera (2018)

2.6.1.1.2 Productores de nopal tunero.

La tuna es una fruta de temporada la cual es considerada como un producto secundario del cultivo de nopales dedicados al forraje, alimento o conservación de suelos, actualmente el cultivo del nopal para tuna tiene lugar en áreas semiáridas de al menos 18 países de ambos hemisferios y en más de 100 000 hectáreas, esta cifra no incluye las plantas naturalizadas, ni las cultivadas para consumo doméstico (ONUAA e ICARDA, 2018). El país con la mayor superficie de nopal cultivado es México (51,112 ha) (Reyes Agüero, 2013), mientras que otros países, tales como Israel, Jordania, Pakistán, Israel, Grecia, Italia, España Marruecos, Túnez, Grecia, Portugal, Brasil, Colombia, Argentina, Perú y Chile, entre otros (FAO, 2019). debido a que es una fruta de temporada son pocas las plantaciones especializadas en la producción única de nopal tunero, por lo cual su participación en los mercados nacionales e internacionales se encuentra limitada. Los países más destacados en cuanto a la producción de dicha fruta se encuentran mencionados en la Figura 8

Productores de nopal tunero a nivel mundial



Figura 8.- Top 7 de principales productores de nopal tunero acorde a la cantidad de ha producidas; creación propia en base a datos de FAO (2019) y FAO (2018).

2.6.1.1.3 Productores de nopal verdura

El nopal ha sido mencionado repetidamente como una alternativa seria para la utilización de regiones semiáridas afectadas por la desertificación natural e inducida en las zonas semiáridas subtropicales y tropicales del mundo (FAO, 2018). La introducción de los nopalitos a otros países y culturas no ha sido fácil debido a la presencia de espinas en los cladodios jóvenes, la abundancia de mucilago, y la falta de atractivo organoléptico de los nopalitos cocinados han limitado su adopción. Actualmente existen pequeñas plantaciones de nopalitos en los EUA, principalmente en California, Texas y Arizona, que producen pequeños volúmenes dedicados a los mercados de productores, y consumidos principalmente por inmigrantes de origen hispano (ONUAA e ICARDA, 2018). Algunos de los principales países productores de nopal verdura se muestran en la figura 9, destacándose entre ellos México donde se producen más de 5,5 millones de toneladas de esta planta (FAO, 2020).

Productores de nopal verdura a nivel mundial

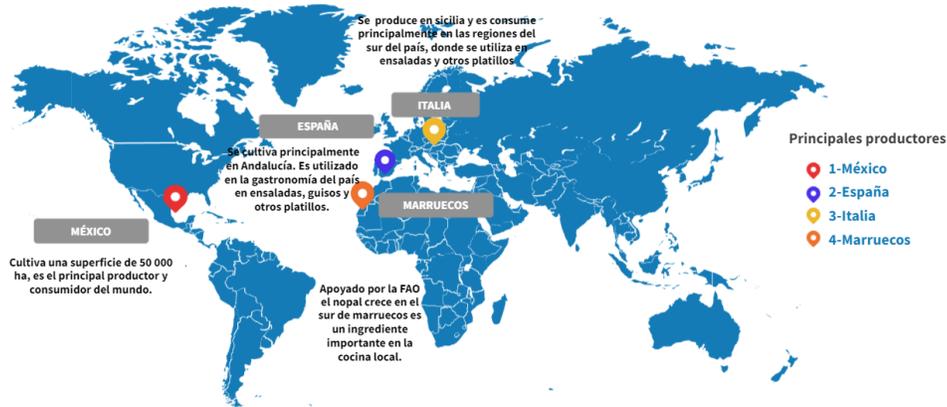


Figura 9.- Principales productores de nopal verdura en el mundo; creación propia en base a datos de FAO (2019) y FAO (2018).

2.6.2 Estado de México

El nopal se ha visto ligado a la historia de México desde sus orígenes, puesto que una gran proporción de las especies de esta planta, encuentran su origen geográfico en el país. Desde la época prehispánica, en el territorio mexicano utilizaban el nopal como alimento, como medicamento, en la construcción y en las artes. Su uso se continuó en la época colonial, con las aplicaciones que desde la época precolombina se tenían en uso (Mills, 1824; Anaya-Pérez, 2001). Este tipo de cactus originarios de regiones áridas o semiáridas de México fueron introducidos al norte de África entre el siglo XVI y XIX (Nebbache, 2009). Griffith (2004) menciona una ruta de dispersión biogeográfica de *Opuntia spp.*, donde describe que, del centro de México, los cactus cultivados se extendieron mediante el comercio en toda Mesoamérica y el Caribe y posiblemente también en América del Sur.

El nopal es una planta rústica, que por sus características fisiológicas puede cultivarse a bajo costo; quizá por ello, las plantaciones comerciales de nopal para producir fruta y verdura han aumentado considerablemente en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco y Estado de México (Blanco, 2006), figura 10. México cuenta con al menos 100 de las 300 especies reconocidas en el mundo de cactáceas (Edgar, 2022), esto debido a sus peculiares condiciones de latitud, topografía y climas; sin embargo, son alrededor de 48 especies las que se comercializan para consumo diverso (Gibson y Nobel 1986), de entre las cuales solo 3 son utilizadas para consumo humano como Nopal Verdura. La más conocida en la república mexicana para uso alimentario como verdura es *Opuntia ficus-indica*, la cual es una planta autóctona del Continente Americano, perteneciente a la subfamilia *Opuntioideae* considerada perenne, es decir, vive más de una estación (Pablo, 2002).



Figura 10.- Top 10 en volumen de producción, principales entidades productoras de México, en la figura se muestran diferencias de tonalidad acorde a la posición de la entidad en el ranking, mientras más claro el tono menor es la posición. Creación propia adaptado de datos de SAGARPA, 2020.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), relativamente México aún domina la producción/consumo mundial de nopal verdura y en menor medida nopal fruta (Edgar, 2022), con una producción anual de 853 mil toneladas de Nopal Verdura; de las cuales, 396,874 toneladas se producen en Morelos con un rendimiento de 68.7 toneladas por hectárea (SAGARPA, 2020). Estas cifras aunado al nivel de calidad que presenta dicha verdura mantienen al estado de Morelos como el principal productor en el país (figura 7), generando un valor de producción de 729 millones 603 mil pesos (SAGARPA 2019) . En consecuencia, Morelos continúa incorporando más hectáreas a la siembra de nopal, siendo así que los municipios de Tlalnepantla, Totolapan, Tlayacapan y Tepoztlán han concentrado la mayor superficie de cultivos (SAGARPA 2019).

2.7 Usos de la especie *Opuntia ficus-indica*.

El nopal es un alimento esencial para la dieta de la población mexicana, alcanzando un consumo per cápita de 6.4 kilogramos y una participación en la producción de hortalizas correspondiente a 5.1 % del total nacional (Víctor Villalobos 2020). A lo largo de los años con las investigaciones los usos y aplicaciones del nopal han ido incrementando.

2.7.1 Colorantes

Las cactáceas son la fuente de colorantes empleados en diferentes industrias como las farmacéuticas, textiles, alimentarias y cosmetológicas.

Los pigmentos pueden obtenerse a partir de sus frutos, tunas y pitayas, además de la llamada cochinilla de nopal o grana la cual es un parasito que se presenta en diferentes especies de nopales, particularmente en la *Opuntia ficus-indica* y la *Opuntia tomentosa*, debido a que este parasito es considerado como una plaga por los agricultores que se encargan de cultivar estas especies, se han generado plantaciones especiales para la crianza de esta fuente de pigmentación, empleando de este modo otra especie de nopal llamada *Nopalea cochenillifera* (Bravo-Hollis y Sanches-Mejorada, 1991). Como se mencionó, el colorante que se extrae de las hembras adultas de la cochinilla es el ácido carmínico (figura 8). Este pigmento se localiza en toda la cavidad interior del cuerpo del insecto, pues forma parte de la hemolinfa, y en el interior de varios tipos de células (Hernández; García Gil; Río Dueñas; L. Mendoza, 2005).

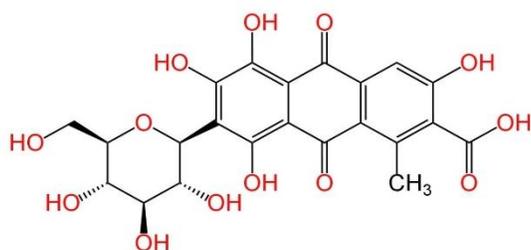


Figura 11.- Estructura química del ácido carmínico. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific®

Piña (1979), citado por Granados y Castañeda (1996), menciona la existencia de 4 presentaciones de cochinilla de nopal:

- I. Cochinilla seca y limpia: Se usan los cuerpos secos de las hembras parasitarias, principalmente en el sector textil de Oaxaca y Chiapas.
- II. Extracto de cochinilla: Es una solución acuosa obtenida al aplastar a las cochinillas empleada en la industria alimentaria de embutidos cárnicos y cosméticos.
- III. Carmín: Se usa para elaboración de pigmentos artísticos y en el sector alimentario.
- IV. Ácido carmínico: Se encuentra presente en las hembras en un 10% y es obtenido mediante purificación, se utiliza como indicador de pH y reactivo en reacciones bacteriológica.

2.7.2 Medio ambiente

El nopal también es ampliamente usado para la resolución de problemas ambientales, como una medida de abatimiento contra la contaminación atmosférica, gracias a que son especies que poseen un proceso metabólico ácido de las Crasuláceas (CAM). Dicho metabolismo les permite consumir grandes cantidades de CO_2 durante su fase oscura (Andrade L.; García C. 2007).

Hecho por el cual es recomendado como planta ornamental su uso en los camellones. Inclusive es empleado para la conservación del suelo ya que utiliza para proteger el suelo y frenar la desertificación, es una planta que puede formar “setos” en curvas de nivel que ayudan a controlar la erosión del suelo, además de que soporta los ambientes desfavorables del desierto, caracterizados por una precipitación pobre y errática y alta oscilación térmica diaria y anual.

2.7.3 Forraje

Como se ha mencionado anteriormente el nopal para forraje es empleado para la alimentación de ganado en zonas de sequía y semi- sequía, gracias a su valor nutricional los ranchos ganaderos que usan este tipo de nopal, ya sea por la zona o la temporada de sequía, no sufren grandes pérdidas de ganado. La tabla 10 muestra las principales especies de *Opuntia* utilizadas como nopal forrajero en México. Tomando en cuenta las descripciones de Aranda (1996) citado por Antonio Melgoza (2000), existen 3 modos de usar el nopal como forraje:

- I. Consumo directo: En este caso se usan los brotes del nopal sin tratar para alimentar al ganado, debido a que contienen una menor cantidad de espinas facilitando su consumo.
- II. Chamuscado a pie: Como su nombre lo indica se utiliza fuego para quemar superficialmente el nopal, buscando así la eliminación de las espinas, sin embargo, este método ocasiona la perdida de mucosidad por parte del nopal.
- III. Por corte: Este método busca facilitar la ingesta por parte del ganado, mediante el picado del nopal una vez cosechado.
- IV.

Tabla 9

Principales especies del género Opuntia utilizadas como nopal forraje en México

Nombre científico	Nombre común
<i>O. streptacantha</i>	Cardón
<i>O. leucotricha</i>	Duraznillo
<i>O. robusta</i>	Tapón
<i>O. cantabrigiensis</i>	Cuijo
<i>O. rastera</i>	Rastrero
<i>O. microdasys</i>	Cegador
<i>O. lindheimeri</i>	Caca-napo
<i>O. engelmannis</i>	Rastrero
<i>O. azurea</i>	Coyotillo

<i>O. stenopetala</i>	Serrano
<i>O. imbricata</i>	Cardenche
<i>O. fulgida</i>	Choya
<i>O. choya</i>	Choya
<i>O. macrocentra</i>	Chivero
<i>O. chrysacantha</i>	Espina amarilla
<i>O. lucens</i>	Penca redonda
<i>O. duranguensis</i>	Durango
<i>O. tenuispina</i>	Azul

Nota: Fuente: adaptado de Flores y Aranda (1997), citado por Melgoza (2000).

2.7.4 Pegamentos y adhesivos

Desde la antigüedad se ha empleado la baba de nopal junco con otros componentes como la cal, arena y el lodo para crear pegamentos debido a su alto contenido de mucilagos, así mismo la goma que surge de las cicatrices en los nopales se emplea en la formación de adhesivos (Hollis Bravo y Sánchez-Mejorada, 1991).

2.7.5 Aplicaciones médicas de la especie *Opuntia Ficus-indica*.

Entre las propiedades conocidas se destaca su uso médico tradicional/cosmético por su actividad hipoglucemiante, hipolipemiante, diurética y antioxidante, que en gran medida se encuentra comprendida por sus compuestos carotenoides, fenoles y vitamina C, ya que estos presentan características nutraceuticas, en este caso en particular la actividad antioxidante ayuda a proteger las estructuras celulares, frenando el proceso de oxidación de estas, derivado de la aparición de radicales libres, los cuales pueden generar no solo el envejecimiento prematuro de la piel, sino también una serie de padecimientos que va desde cardiovasculares, degenerativas, Alzheimer, Parkinson, hasta distintos tipos de cáncer (Rafecas, 2007).

I. Actividad hipoglucemiante

En los diversos estudios para comprobar si el nopal presenta dicha propiedad se ha destacado la preparación de este como jugo fresco, administrado por medio de vía oral, ha demostrado una disminución del 20% de glucemia de las cifras basales en un periodo de una hora tras su ingesta, dicho efecto se ve prolongado de 2-3 horas, acompañado de un descenso de triglicéridos (Frati Munari A., 1983). Los efectos que presenta el jugo de nopal se siguen estudiando con pacientes de diabetes tipo 2, según Seung Hwan H, Il-Jun Kang y Soon Sung Lim (2017) sugieren en base a los resultados obtenidos en su estudio que la ingesta jugo de nopal mejora significativamente el metabolismo de carbohidratos alterado en ratas inducidas a la diabetes, así mismo puede usarse como un agente nutraceutico para mejorar la diabetes tipo 2.

En el 2016 María Eugenia realizó un experimento para determinar a qué se debe la actividad hipoglucemiante del nopal, usando extractos de la raíz del nopal, entre otros, para detectar su posible efecto inhibitor de la alfa-amilasa y la alfa-glucosidasa. Un factor importante para dar lugar a una hiperglucemia postprandial es la absorción rápida de la glucosa en el intestino, en el que la α -amilasa y la α -glucosidasa desempeñan papeles importantes debido a la hidrólisis de almidón y oligosacáridos (Gray, 1995). La α -amilasa y la α -glucosidasa participan en la digestión de la glucosa por lo que son consideradas enzimas clave en el control de la hiperglicemia postprandial. La α -amilasa está presente tanto en la saliva como en la secreción pancreática y es la responsable de adherir los malto oligosacáridos en la maltosa, la cual es sustrato para la α -glucosidasa intestinal (Loizzo et al., 2005). Por eso, se cree que la inhibición de estas enzimas puede controlar eficazmente la elevación del nivel de glucosa postprandial en sangre (María E., 2016).

En el experimento se empleó como control positivo la acarbosa (Figura 12), clínicamente, la acarbosa, es un inhibidor de la pseudo-oligotetrasacárido de amilasas y glucosidasas, y se emplea como terapia adyuvante en pacientes con diabetes (María E., 2016). En consecuencia, se determinó que los extractos exhibieron capacidad de inhibir la actividad de la enzima α -amilasa. No obstante, tomando como referencia la bioactividad de la acarbosa, se necesitó una mayor concentración de extracto de raíz de nopal, siendo estas de 1 mg de extracto seco/mL de etanol para inhibir en un 50 por ciento la actividad de la α -amilasa y 0.175 mg de extracto seco/mL de etanol para inhibir en un 50 por ciento la actividad de la α -glucosidasa (María E., 2016).

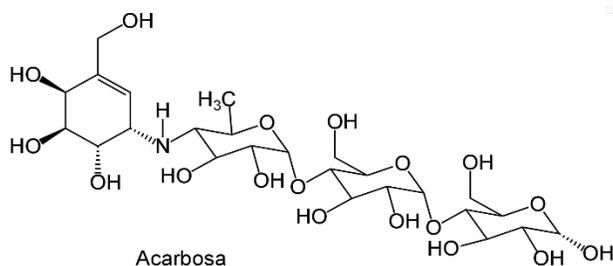


Figura 12.- Estructura química de la Acarbosa, empleada como control para la determinación de actividad hipoglucemiante del nopal. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific®

II. Actividad diurética

En base a estudios realizados por Perfumi M. y Tacconi R. (1996) citados por Jorge A. (2007) las infusiones a base de flores de nopal presentan una actividad diurética de tipo natriurética, es decir la producción de hormonas por parte del corazón las cuales aumentan la diuresis, asociaron este hecho a los flavonoides presentes en la planta, así como a sus minerales, de igual forma otro estudio realizado por Galati E. (2002a.) donde mezcló las penca, flores y frutos para generar una infusión mostro un efecto diurético importante en el tratamiento del padecimiento crónico, con un actividad natriurética baja.

El efecto diurético y anti-úrico del extracto de tuna es superior al que presentan el cladodio y la flor del nopal, dicho efecto se puede atribuir a la influencia que el elevado contenido de electrolitos de la tuna (iones K+) ejercen en el epitelio renal o a la presencia de compuestos polares como flavonoides glicosilados, vitamina C y otros compuestos, los cuales pueden individual o sinérgicamente promover una vasodilatación inicial. Otra explicación radica en el incremento de diuresis y el incremento de uratos en la excreción urinaria, lo cual podría influir en el metabolismo del ácido úrico a través de la alteración de la actividad enzimática (Juan Carlos, 2009).

III. Actividad hipolipemiente

Las pectinas del nopal alteran el metabolismo hepático del colesterol sin afectar su absorción, ocasionando que actúe de manera reversible con los receptores lipoproteicos de baja densidad esto acorde a estudios realizados por Fernández E. y Trejo Gonzales A. (1992- 1994) mediante los cuales se observó un descenso de más del 30% en los niveles de LDL-colesterol y una ganancia nula de peso.

En *Opuntia* las propiedades hipolipemiantes pueden asociarse más a su contenido de fibra dietética (Wolfram, 2002). Los mecanismos propuestos para explicar la acción de la fibra soluble se relacionan con su capacidad de limitar la absorción del colesterol intestinal y con la acción quelante sobre sales biliares interrumpiendo la circulación enterohepática. Dicha situación genera reducción en la tasa de absorción de lípidos y colesterol contenidos en los alimentos, ocasionando que el hígado sintetice nuevos ácidos biliares a partir del colesterol intracelular disminuyendo así sus concentraciones plasmáticas (Muñoz, 2014). Al estimular la conversión de colesterol en sales biliares por la enzima 7-alfa-hidroxilasa (figura 13), disminuyen las concentraciones intracelulares de colesterol libre, lo cual genera alteraciones en la remodelación de las lipoproteínas variando la composición de aquellas de muy baja densidad (VLDL) y las lipoproteínas de baja densidad (LDL) las cuales incrementan su contenido en triglicéridos y son más pobres en colesterol esterificado, ya que las VLDL son catabolizadas más rápido existe una menor conversión a LDL y gracias al incremento de la actividad de la enzima hidroximetilglutaril-CoA reductasa, que aumenta el número de receptores de LDL, da como resultado la reducción de las concentraciones de estas (Muñoz, 2014).

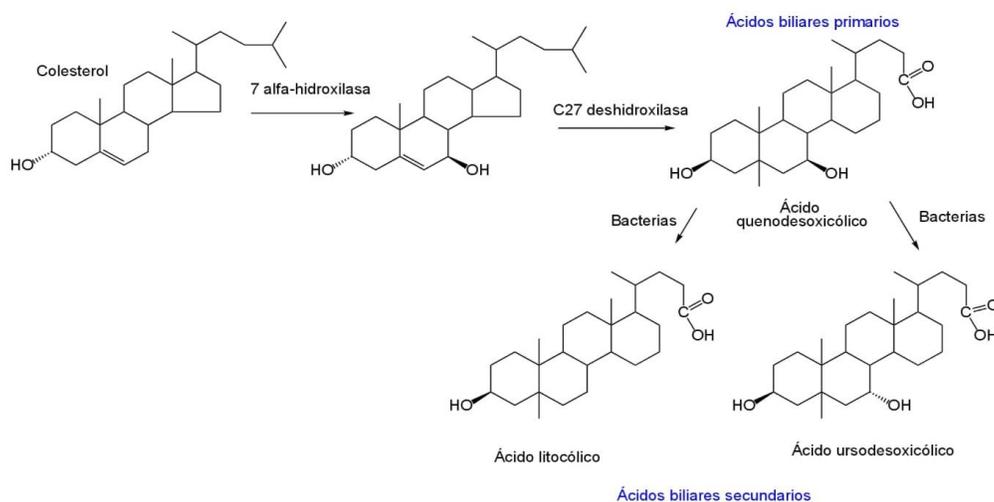


Figura 13.- Síntesis de ácidos biliares a partir de del colesterol por acción de la 7 alfa hidroxilasa, tras una segunda vía biosintética que se inicia a partir de colesterol en tejidos extrahepáticos por una reacción catalizada por la enzima esterol-27-hidroxilasa, se forman intermediarios que luego son transformados en ácidos biliares en el hígado. Creación propia; adaptado de datos del IBC

IV. Actividad antiinflamatoria

Su actividad antiinflamatoria se atribuye al compuesto β -sitosterol aislado del extracto metabólico de los tallos del nopal, la efectividad fue probada en ratas en una dosis de 200 mg/kg intraperitoneal, siendo menor a la de la hidrocortisona (Park E. ,2001). El β -sitosterol, es una sustancia química relacionada estructuralmente con el colesterol (Figura 14), pero que se absorbe más lentamente en el tracto intestinal, interfiriendo con la absorción de este y evitando su elevación en el suero (Tapiero, 2003); así mismo impide la liberación de factores proinflamatorios como la interleucina 6 (IL6) y el factor de necrosis tumoral- Alpha por los monocitos activados, reduciendo el edema que se genera (Rogelio P., 2022). Los fitoesteroles también presentan actividad sobre el sistema circulatorio, que conduce a una disminución de la fragilidad capilar y previene la formación de varicosidades mejorando la circulación periférica, lo cual es la primera manifestación en los procesos inflamatorios (Cartaya O., 2001).

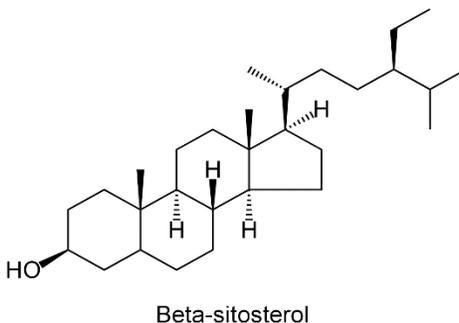


Figura 14.- Estructura química del β -sitosterol, fitoesterol responsable de la actividad antiinflamatoria del nopal. Creación propia a base de datos de Fisher Scientific ®

2.7.6 Alimentos

Las cactáceas cuentan con especies que se usan para el consumo humano, destacándose las del género *Opuntia*, de estas se obtienen diversos alimentos como lo son las mermeladas, frutos, néctares, jugos, golosinas y verduras, en el ámbito alimenticio se destaca su consumo como verduras normalmente conocidas como “nopalitos”, dicho nombre hace referencia a las pencas jóvenes del nopal. Los nopalitos suelen consumirse bajo previa cocción ya sea asados, hervidos o al vapor para utilizarse en platillos de acompañamiento, encurtidos e inclusive como plato fuerte, de igual forma pueden consumirse de manera cruda acompañado de otros componentes, cuando se trata de bebidas como lo son los jugos verdes.

Otro elemento destacado de la morfología de las cactáceas son sus frutos los cuales varían según la especie, se encuentra divididos en “tunas” cuando son jóvenes y presentan un mayor contenido de azúcares volviéndose dulces al paladar y en “Xoconostle” los cuales presentan un característico sabor ácido (Granados, 1996). En el ámbito industrial según estudios realizados por Cárdenas y Goycoolea (1997) citados por Antonio Mendoza (2000), el mucilago de la planta puede ser utilizado como un aditivo alimenticio ya sea gelificante o espesante. De igual forma el nopal es procesado como un alimento para exportación siendo Estados Unidos uno de los principales consumidores, se puede encontrar como botana deshidratada o caramelizada, en jugos, néctares, mermeladas, encurtidos, etc. (Claudia A., 1995).

Sus diferentes formas comerciales son el resultado de procesos implementados para extender la vida útil del nopal como alimento, facilitando la exportación de este, sin embargo, hay que tener en cuenta que, durante el almacenamiento y distribución, los alimentos están expuestos a un amplio rango de condiciones ambientales que pueden desencadenar mecanismos de reacción que conducen a la degradación del alimento. Como consecuencia los alimentos se alteran hasta ser rechazados por el consumidor. Por lo tanto, es necesario conocer las maneras en que se deterioran los alimentos para desarrollar procedimientos específicos que ayuden en la conservación de su vida útil (A. Caps. y J. Abril, 2003).

3 Conservación de alimentos

Los alimentos son sustancias esenciales para el correcto desarrollo de los procesos metabólicos en seres vivos, debido a que estos proporcionan energía y materia en dichos procesos logrando mantener las funciones fisiológicas del organismo, dichas sustancias son derivados de animales o plantas por lo cual presentan mejores propiedades organolépticas y nutricionales cerca de su cosecha o madurez, de igual manera es debido a su naturaleza que se originan diversas transformaciones, de índole químico, bioquímico y microbiano, las cuales modifican las propiedades organolépticas originales que los alimentos presentan, llevándolos incluso a su deterioro (A. Caps. y J. Abril, 2003).

Para evitar el deterioro de los alimentos ocasionado por la pérdida de las propiedades tanto nutricionales como organolépticas, se han desarrollado métodos de conservación empleando calor, frío, conservadores químicos o una mezcla de estos, los cuales ayudan a prolongar el tiempo de vida útil que presentan los alimentos; sin embargo, no existe un método de conservación que presente un resultado ilimitado con respecto a dicho tiempo frente a riesgos potenciales (PEPSAM, 2009).

Según Ivana Mylene (2019), los objetivos de la conservación de alimento se pueden enlistar de la siguiente manera:

- Prolongar la vida útil
- Retrasar la alteración estructural del alimento
- Disminuir los microorganismos causantes del deterioro
- Elaborar nuevos productos alimentarios
- Mejorar el valor nutritivo

-
- Aumentar la digestibilidad, palatabilidad y otras características organolépticas

3.1 Métodos de conservación

Se han desarrollado diversos métodos para conservar los alimentos controlando las condiciones que favorecen el crecimiento microbiano. Podemos clasificar dichos métodos en categorías como métodos físicos y métodos químicos, los cuales a su vez cuentan con subcategorías como se muestra a continuación.

3.1.1 Métodos físicos

En los métodos de conservación físicos como su nombre lo dice, se intercede con el estado físico del alimento, que se caracteriza por una pérdida de agua para su posterior tratamiento térmico o irradiación a altas presiones (Mylene, 2019). En estos tipos de tratamiento podemos encontrar:

3.1.1.1 Conservación mediante frío

Se emplean bajas temperaturas en los alimentos, ya que estas si bien no eliminan a los microorganismos, inhiben su crecimiento prolongando así su vida útil (Karen, 2012). Este método se clasifica de acuerdo con la intensidad del frío aplicado como:

- Refrigeración: los alimentos son expuestos a temperaturas de entre 0°C y 4 °C durante periodos de tiempo cortos, días, o de mediano plazo (semanas) (INTEC, 2019)
- Congelación: Los alimentos son sometidos de manera rápida a temperaturas de entre -15°C y -20°C, temperatura donde se genera la inhibición de bacterias permitiendo así que la conservación del alimento sea larga (INTEC, 2019).
- Ultracongelación: La temperatura del alimento debe ser bajada de manera rápida hasta llegar a los -40°C, generando una conservación más duradera que las anteriores (PEPSAM, 2009)

3.1.1.2 Conservación mediante calor

El uso de calor en los alimentos elimina totalmente los microorganismos y las enzimas que alteran el producto, este proceso debe ocurrir en el interior del alimento a temperaturas determinadas por un tiempo variable según el tipo de alimento (Karen, 2012), acorde con datos mencionados por Mylene (2019) estos métodos pueden ser:

- Escaldado: Se sumergen los alimentos en agua en ebullición durante un tiempo relativamente corto, es mayormente empleado como un pretratamiento para la congelación.

-
- Pasteurización: Es un tratamiento que se aplica con temperaturas menores a los 100°C por un tiempo determinado con el fin de eliminar a los patógenos existentes en el alimento, no presenta una duración de vida útil larga (semanas).
 - Esterilización: Se emplean temperaturas de entre 115°C a 127°C por un tiempo de 20 min, para eliminar completamente a los microorganismos, permitiendo que el tiempo de vida útil sea prolongado (meses o años).
 - Cocción: los alimentos son sometidos a temperaturas y tiempos variados, dependiendo del tipo de estos, provocando cambios en las propiedades organolépticas.

3.1.1.3 Conservación mediante deshidratación

El proceso de deshidratación se encarga de la eliminación del agua existente en un alimento ya sea parcial o total, dependiendo del tipo de deshidratación y el tiempo, sin embargo, debido a dicha pérdida los alimentos presentan cambios en sus propiedades organolépticas (Mylene, 2019). Según Karen (2012) la modificación del contenido de agua en alimentos puede dividirse en:

- El desecado. Es el método tradicional de someter el alimento a exposición directa al sol hasta que pierde la mayor parte de su agua por evaporación. Actualmente se hace en estufas o secaderos acondicionados y bien aireados .
- Concentración. Consiste en eliminar parte del agua presente en el alimento, ocasionando que los sabores de este se profundizan más. Esto se consigue con la evaporación, congelación, prensado mecánico o centrifugado, entre otros procesos.
- Liofilización. Consiste en someter al alimento a una ultracongelación y a dos procesos de desecación. Es un proceso complicado y por ello resulta caro. Sin embargo, la rehidratación añadiendo agua en el momento de su consumo, permite una rápida recuperación del alimento.

3.1.1.4 Conservación mediante irradiación

La irradiación es un proceso donde se somete a los alimentos a la exposición de radiación ionizante durante periodos de tiempo variable, mediante la aplicación de rayos gama, rayos X o el haz de electrones, todas fuentes de radiación aprobadas por la FDA, con el fin de retrasar la maduración y alterar la integridad de los microorganismos (FDA, 2022).

Acorde con Ivana Mylene (2019), el tiempo de exposición es proporcional a la cantidad de energía que se desea que el alimento absorba:

- En dosis bajas se retarda la maduración del alimento y se consigue la eliminación de parásitos.
- En dosis medias se eliminan los microorganismos patógenos y se reduce el tiempo de elaboración del alimento.

-
- En dosis altas se usa para esterilizar alimentos, inactivar enzimas y desinfectar.

3.1.1.5 Conservación mediante alta presión

Este método también conocido como presurización, es un sistema en frío que utiliza altas presiones hidrostáticas (HPP) las cuales desactivan a los microorganismos en los organismos ya que estas afectan a las membranas celulares y algunas estructuras proteicas, sin ocasionar alteraciones a las características organolépticas ni instruccionales del alimento sometido a este tratamiento (Pradas Baena; Moreno Rojas, 2016).

3.1.2 Métodos químicos

La conservación por método químico consiste en la modificación del alimento por medio de la adición de una sustancia externa la cual se encarga de eliminar el agua existente en el producto (Mylene, 2019), este método se puede aplicar de 4 maneras

3.1.2.1 Medio seco

- Ahumado: Para este proceso se emplean hornos de ahumar de temperaturas entre los 60°- 75°C, donde el humo utilizado se obtiene por combustión lenta e incompleta de maderas duras (castaños, hayas) y a veces se combina con plantas aromáticas como tomillo o laurel. El humo choca con los alimentos de manera directa y funge como conservador gracias a su acción anti bactericida, antifúngica, además que cambia el sabor, olor y color del alimento ahumado (Karen, 2012).
- Salazón: El alimento se somete a los efectos del cloruro de sodio, que acciona sobre el sabor, las propiedades del tejido a conservar y los microorganismos; si su uso se combina con pérdida de agua, el método se denomina curado (Karen, 2012).

3.1.2.2 Medio líquido

Este método se basa en sumergir los alimentos en diversos líquidos conservadores para inhibir la proliferación de microorganismos (Mylene, 2019).

- Adobos: Los alimentos son recubiertos por un preparado de diversos ingredientes, los cuales modifican el pH de este, dificultando el crecimiento bacteriano. Entre los adobos pueden encontrarse los escabeches y la marinada (Karen, 2012)
- Escabeches: Igual que el método anterior los alimentos deben ser sumergidos, en este caso en una mezcla de agua, aceite y ácido acético, además de ser sometido a calor hasta que este cocido, el calor más la modificación de pH impiden la proliferación bacteriana (Mylene, 2019).
- Marinados: Generalmente usado en productos cárnicos, consiste en sumergir dichos productos en una mezcla de alcohol y hiervas durante un tiempo determinado (desde un día hasta varias semanas), con el objeto de que tras este tiempo sea más tierno o que llegue a estar más aromatizado (Karen, 2012).

-
- Encurtidos: Se emplea una mezcla de sal y ácido acético para cubrir los alimentos prolongando su tiempo de vida debido a los cambios de pH (< 4.6). El almacenamiento en frío de los productos encurtidos les proporciona mejor estabilidad por varios meses. Además, para periodos muy extendidos de almacenamiento se puede dar una protección más completa a través del proceso de enlatado o envasado al vacío (PEPSAM, 2009).

3.1.3 Control de la atmósfera

Acorde con Mylene (2019), esta metodología consiste en controlar y reducir la presencia de microorganismos en el envasado, que puedan deteriorar los alimentos. Dicha metodología puede dividirse en los siguientes métodos.

- Envasado al vacío: En este método se elimina por completo el aire existente en el envase. Con este procedimiento se detienen los procesos de oxidación y la multiplicación de gérmenes y se prolonga la vida del producto.
- Envasado en atmósfera modificada: De igual forma se elimina el oxígeno existente para posteriormente ser reemplazado por una mezcla de gases nobles que resulta totalmente inerte. No obstante, con el paso del tiempo y en función de la evolución del alimento, la atmósfera irá variando.
- Envasado en atmósfera controlada: Consiste igualmente en realizar el vacío, pero sustituyendo el aire por otros gases cuya composición mantendremos constante a lo largo del tiempo mediante un control continuado de la atmósfera. La elección y proporción de los gases utilizados depende, en gran medida, del tipo de alimento, del envase y el tipo de descomposición o cambio que sufra el alimento (INTEC, 2019).

3.1.4 Uso de aditivos

Los aditivos son sustancias que fueron regularizadas y aprobadas por las normas alimentarias, los cuales se adicionan en los alimentos en cantidades pequeñas (Mylene, 2019). Los aditivos empleados como conservadores son:

- Conservantes: Destruyen a los microorganismos presentes en los alimentos o si es el caso limitan su actividad, ralentizando su degradación (Mylene, 2019).
- Antioxidantes: Son sustancias que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano, se utilizan en la industria alimentaria adicionados a las grasas u otros productos para retrasar los procesos de oxidación, en tanto previenen el comienzo de la rancidez oxidativa (Marta C. H. , 2015), y previenen la degradación de los alimentos producida por la radiación UV, así como el calor, comúnmente se emplea el ácido cítrico de origen natural (Mylene, 2019). En el caso del ácido cítrico también es considerado un acidulante debido a su capacidad de regular el pH provocando la inhibición del crecimiento microbiano, catalogado con la abreviatura de E-330, siendo un aditivo de amplio espectro.

El ácido cítrico se utiliza principalmente en quesos, productos alimenticios a base de cacao y chocolates, zumos de frutas, productos congelados, mermeladas, bebidas refrescantes y enlatados. Previene la turbidez, ayuda en la retención de la carbonatación de bebidas (CO_2), estimula los conservantes, confiere sabor "frutal" característico y prolonga la estabilidad de la vitamina C (AGROLAB®, 2018). Otro aditivo implementado como acidulante, que es ampliamente empleado en las conservas exportadas es el ácido acético (E-260) (AGROLAB®, 2018).

3.2 Relación de los antioxidantes con la salud

Los antioxidantes además de servir como conservadores alimenticios cumplen con un papel importante en la prevención de los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos (Marta C. H., 2015). Se comprende como antioxidante a cualquier molécula capaz de prevenir o retardar la oxidación (pérdida de uno o más electrones) de otras moléculas, generalmente sustratos biológicos como lípidos, proteínas o ácidos nucleicos. La oxidación de tales sustratos suele ser iniciada por dos tipos de especies reactivas: los radicales libres y aquellas especies que sin ser radicales libres, llamadas prooxidantes, son suficientemente reactivas para inducir la oxidación de sustratos como los antes mencionados (INTA, 2020). En las últimas décadas el interés por el estudio de los antioxidantes ha aumentado debido a que su consumo se ha relacionado con la disminución de enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades neurodegenerativas (González J., 2015). Siendo las enfermedades cardiovasculares (ECV) uno de los mayores problemas de salud en los países industrializados, donde son la primera causa de muerte (JF. Ascaso, 200).

En las enfermedades cardiovasculares, se emplean fármacos antiinflamatorios no esteroideos como los salicilatos, conocidos por tener propiedades antioxidantes al proteger a las lipoproteínas de baja densidad de la oxidación, suceso que se origina en la arteriosclerosis, una enfermedad inflamatoria crónica. El mecanismo antioxidante de los salicilatos aún no es bien conocido, pero se sugiere que captura los radicales hidroxilos, regula los niveles de óxido nítrico, inhibe la oxidación de neutrófilos, inhibe a NF- κ B y proteína activadora AP-1, y lo más reciente que es la síntesis de lipoxinas (potentes antiinflamatorios derivados de eicosanoides) que puede aumentar en respuesta a la ingestión de aspirina y probablemente participa en mantener un balance del estrés oxidativo (Argelia L., 2012). El uso de antioxidantes como la vitamina C, vitamina E y selenio puede ayudar en el tratamiento de los pacientes con enfermedades cardíacas, así como a las complicaciones cardiovasculares inducidas por la diabetes (Turan B., 2010). La vitamina E reducida (α -tocoferol-OH) puede reaccionar con los radicales libres previniendo la peroxidación de lípidos inducida por éstos, sin embargo, esta reacción da como resultado la producción de un radical tocoferol (α -tocoferol-O \cdot) que puede causar la peroxidación lipídica. En presencia de la vitamina C, este radical de tocoferol puede ser rescatado (Argelia L., 2012).

El estrés oxidativo mitocondrial está implicado en los procesos normales de envejecimiento, en la diabetes, en desórdenes neurodegenerativos y enfermedades como el cáncer. La función mitocondrial está en relación con el incremento de radicales libres, cambiando significativamente con la edad (Cortés RC, Rodríguez OA., 2011). Los antioxidantes juegan un papel predominante en la prevención de diferentes tipos de cáncer, se ha descrito su posible relación fisiopatológica entre las alteraciones a nivel de lípidos y peroxidación lipídica. Estudios revelan que el consumo de antioxidantes con propiedades antitumorales como la N-acetilcisteína, en pacientes con cáncer de mama, reducen el riesgo de mortalidad (Argelia L., 2012). La metformina, un medicamento que se utiliza desde hace varias décadas en el tratamiento de la diabetes mellitus es un poderoso antioxidante que reduce la producción de los radicales libres, y está comprobado que disminuye el riesgo de cáncer epitelial (Maccone A, 2011).

Con respecto al ejercicio físico su relación entre defensas antioxidantes y ejercicio físico es doble. Por un lado, el ejercicio físico aumenta los procesos oxidativos, lo que precisa de unas defensas antioxidantes que protejan frente a los potenciales daños del aumento del estrés oxidativo. Por otro lado, el ejercicio aeróbico por sí mismo induce una activación de la funcionalidad enzimática oxidativa, potenciando las defensas antioxidantes (Teresa G., 2008). Los programas de entrenamiento físico producen estados de fatiga transitoria que mediante los sistemas biológicos del organismo se compensan y de esta forma aumenta la capacidad regenerativa. Sin embargo, cuando se produce un desequilibrio entre la fase de ejercicio y de recuperación, siendo el organismo incapaz de adaptarse puede generar un exceso de radicales libres. Las ERO entre las que se encuentran los radicales libres provocan efectos inflamatorios y promueven la síntesis de superóxidos a nivel mitocondrial. Otra sustancia que también se libera durante el ejercicio físico son las catecolaminas, neurotransmisores relacionados con el estrés, la oxidación de estas produce una elevación de liberación de radicales libres (Cristina C., 2022).

3.3 Interacción de los radicales libres con el organismo, medios de defensa y evaluación.

3.3.1 Radicales libres

Los radicales libres son especies químicas (átomos, moléculas) que cuentan con uno o más electrones desapareados, ocasionando que dicha especie se vuelva inestable y altamente reactiva, en necesidad de encontrar su estabilidad la o las especies comienzan a sustraer electrones de sus compañeras aledañas, este proceso puede ocurrir de dos formas mediante la unión de los electrones desapareados de dos radicales libres produciendo así su neutralización o dando surgimiento a nuevos radicales libres en cadena mediante la sustracción de electrones pertenecientes a moléculas no radicalizadas (Figura 15); en este último caso pese a que estos presentan una vida útil de microsegundos, gracias a su alta reactividad son capaces de interactuar con todo lo que encuentren a su alrededor, logrando que dichas reacciones se lleven a cabo en lugares lejanos a donde estas se originaron,

generando daños en las moléculas, membranas celulares, tejido conjuntivo, proteínas, lípidos, así como la activación anómala de los leucocitos lo cual lleva al desarrollo de enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. (Pita, G.; Cabrera, A.; Serrano, G.; Macías, C.; Hernández, M, 2000).

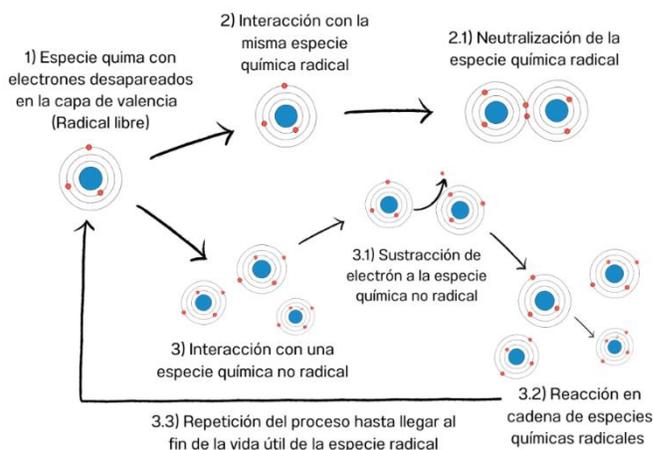


Figura 15.- Vías de producción en exceso de radicales libres

Con base a la literatura generada por Martínez Cayuela (2010) podemos decir que la formación de estas especies químicas se debe a los siguientes métodos:

- Mediante la adición o sustracción de un electrón en la capa de valencia de un átomo o molécula no radical.
- A través de una ruptura homolítica de un enlace covalente de una especie química no radical, es decir aquellas rupturas donde los electrones son repartidos en cada átomo de la especie química.

Los radicales libres participan en el funcionamiento del organismo a través de reacciones biológicas (Tabla 10) con la finalidad de ganar energía y servir como medio de defensa contra virus y bacterias; los principales mediadores de dichas reacciones son las especies reactivas del oxígeno denominadas como ERO o ROS (por sus siglas en inglés) debido a su capacidad de captación de electrones, en bajas concentraciones son mediadores de procesos de señalización intracelular, pero a concentraciones elevadas se vuelven nocivos para la salud (Martínez, 2010).

Tabla 10

Reacciones biológicas en las que participan los radicales libres

Reacciones	Nombre de la reacción
$A\cdot + B\cdot \rightarrow AB$	Combinación de radicales libres/ neutralización
$A\cdot + BCD\cdot \rightarrow AB + C = D$	Desproporción
$AB\cdot \rightarrow A\cdot + B$	Fragmentación



Nota: A, B, C, D, A', D', C', B' representan los símbolos químicos o la fórmula molecular de los átomos o moléculas que reaccionan (lado izquierdo) y los que se producen (lado derecho) Adaptado de Martínez C (2010).

En el organismo la producción de las especies ERO ocurre por la fuga de electrones ya sea de las mitocondrias o de las cadenas de transporte de electrones microsoma les (Martínez Cayuela, 2010). Los radicales libres también pueden ser producidos por la interacción con medios externos perjudiciales para la salud como lo es la contaminación atmosférica y la radiación, también se ven atribuidos al consumo de sustancias estupefacientes, psicotrópicas, la ingesta incorrecta de nutrientes y al estrés tanto físico como mental.

Los radicales libres pueden encontrarse diseminados por todo el organismo, es por este hecho que para mantener regulada la producción de dichas especies químicas, es necesaria la interferencia de antioxidantes, estos son sustancias capaces de neutralizar la acción oxidante que presentan los radicales libres mediante la liberación de electrones en la sangre, que son captados por los radicales libres. (Marcia A.; Mario S., 2006).

3.3.2 Estrés oxidativo:

El estrés oxidativo es el desequilibrio generado entre la velocidad de producción de ERO contra los mecanismos de defensa antioxidante que presenta el sistema biológico para neutralizarlos, este fenómeno puede ocasionarse debido a la producción desenfrenada de estas especies químicas radicales o por la baja ingesta de sustancias antioxidantes lo cual ocasiona un déficit de estos en el organismo. En una situación de estrés oxidativo en las moléculas biológicas los daños son generados por las ERO particularmente aquellas que se generan de manera natural durante la producción de energía para los procesos metabólicos se requiere de oxígeno molecular, el cual es reducido a agua tras aceptar cuatro electrones por el complejo citocromo-oxidasa de la mitocondria. Normalmente, 2% del oxígeno es reducido de forma incompleta, al aceptar un menor número de electrones originando EROS tales como el anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el radical hidroxilo (HO) (Figura 16) (Vicente S., 2013).

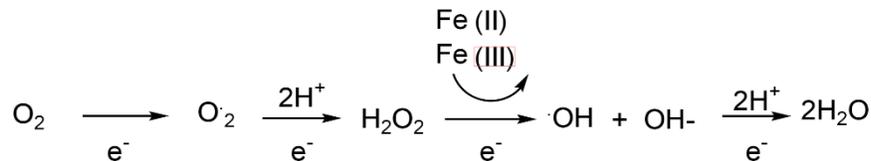


Figura 16.- Formación de las especies reactivas de oxígeno (ERO), generadas por una reducción secuencial del oxígeno molecular. Creación propia en base a datos de (Desikan, 2005)

Los daños incluyen modificaciones de las macromoléculas celulares, como proteínas, donde puede perderse la reactividad enzimática; lípidos, donde ocurre peroxidación modificando la estructura de la membrana; y ADN, dando lugar a mutagénesis y carcinogénesis, estas modificaciones se van acumulando exponencialmente a lo largo de la vida del organismo, e inducen así el proceso de envejecimiento (Franklin V.; Carlos R; Abdoel N. y Tamara Z., 2007), de igual forma el daño generado por las ERO ha sido implicado en otras patologías tales como hepatitis Crónica, hipertensión, resistencia a la insulina y diabetes tipo 2, enfermedades neurodegenerativas (Carvajal, 2018).

Estas enfermedades pueden clasificarse en las generadas por prooxidantes que modifican el estado redox y alteran la tolerancia a la glucosa, favoreciendo el estrés oxidativo mitocondrial en enfermedades como el cáncer y la diabetes mellitus; el segundo grupo incluye estrés oxidativo de tipo inflamatorio y una mayor actividad de la enzima nicotina metiltransferasa (NADPH-ox) que conducen a la aterosclerosis e inflamación crónica; y el tercer grupo deriva del sistema xantina-oxidasa, generando ERO implicados en la lesión isquémica por reperfusión. Por otra parte, el proceso de envejecimiento está ligado al efecto dañino de los radicales libres a través de la oxidación de biomoléculas como lípidos, ADN y proteínas, repercutiendo directamente en el proceso de envejecimiento (Vicente S., Nahum M., 2013).

Es importante tener en cuenta otros factores que desencadenan el estrés oxidativo, como el tipo de vida y de dieta que actúan como prooxidantes. Un ejemplo conocido es el tabaco inhalado, el cual es considerado un poderoso prooxidante exógeno. El incremento indirecto del proceso oxidativo del tabaco inhalado puede incrementar un estrés oxidativo secundario debido a la inflamación pulmonar (Vicente S., Nahum M., 2013). En cuanto a los factores alimenticios, se conoce que las dietas ricas en grasas pueden contribuir a un estrés oxidativo debido al incremento de peroxidación lipídica; las carnes rojas ricas en grasas se cree que intensifican el estrés oxidativo a través de la ingesta del hierro heme, molécula que contiene metales como el hierro que son capaces de hacer ciclos redox en los que un solo electrón puede ser aceptado o donado por el metal, esta acción cataliza reacciones que producen radicales hidroxilo y especies reactivas del oxígeno vía la reacción de Haber-Weiss. Esto puede hacer posible que el hierro heme incremente el riesgo de cáncer por medio de otros mecanismos tales como la activación de algunos factores de transcripción como NF-kB, AP-1, y p53 (Murley JS., 2001).

3.3.3 Defensa antioxidante

Los antioxidantes son un conjunto de compuestos químicos o productos biológicos que contrarrestan de una manera directa o indirecta los efectos nocivos de los radicales libres u oxidantes, tales como oxidación a lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, alterando las funciones celulares (Argelia L, 2012) . Para contrarrestar el efecto pernicioso de los radicales libres de oxígeno, existen en los sistemas biológicos una gran diversidad de sustancias, de naturaleza enzimática y no enzimática, que constituyen los denominados sistemas de defensa antioxidante.

Estos sistemas funcionan muy eficientemente de manera coordinada y su misión es proteger la homeostasis celular frente a la disrupción oxidativa causada por radicales libres y otras especies reactivas originadas durante el metabolismo del Oxígeno. Dentro de dichos sistemas se puede hablar de sistemas de defensa antioxidante primarios o preventivos y sistemas de defensa antioxidante secundarios o rompedores de cadena (Martínez C.,2010). Cuando estos sistemas antioxidantes fracasan se produce un exceso de radicales libres (Argelia L., 2012) .

Los sistemas de defensa antioxidante constan de dos líneas de control, las enzimas antioxidantes constituyen la primera línea de defensa celular frente al daño oxidativo; estas defensas primarias interactúan con los radicales libres generados directamente del oxígeno molecular y, de esta manera, disminuyen la velocidad de inicio de las reacciones de los radicales libres. Aunado a éstas las defensas secundarias, están compuesta por moléculas no enzimáticas que actúan sobre los radicales libres (Vicente S., Nahum M., 2013). Para proteger a la célula en contra de los efectos de la oxidación, los sistemas de defensa antioxidante deben actuar en conjunto para formar un sistema íntegro en donde la dieta es la mayor fuente de antioxidantes y microelementos para la síntesis de enzimas antioxidantes. En este sentido, varios metales (Cu, Zn, Se, Mn y Fe) participan como componentes o cofactores de enzimas antioxidantes; al igual que las vitaminas, ácido ascórbico, α -tocoferol, β -caroteno y ácido fólico, las cuales actúan como atrapa dores de las ERO (Peralta P. y Volke S., 2011)

3.3.3.1 Sistemas de defensa primarios

Los sistemas de defensa primarios disminuyen la velocidad de inicio de las reacciones de los radicales libres, al interactuar directamente con aquellos que son generados por el O_2 . Este sistema de defensa está constituido por diversas enzimas cuya función primaria es disminuir las concentraciones intra e intercelulares de las especies reactivas de oxígeno tales como: el superóxido dismutasas (SOD), la catalasa, el glutatión peroxidasa (enzima catalizadora de la reducción del H_2O_2 y de hidroperóxidos), el glutatión reductasa (enzima que cataliza la reducción del glutatión oxidado), la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa y otras (Martínez C.,2010).

Tabla 11

Principales antioxidantes enzimáticos

Antioxidante	Ubicación celular	Función fisiológica
Superóxido dismutasa (SOD)	Citoplasma (SOD-1)	Dismutación de radicales superóxidos.
	Mitocondria (SOD-2)	
	Extracelular (SOD-3)	

Glutación peroxidasa	Citoplasma y mitocondria	Elimina el peróxido de hidrogeno y los hidroperóxidos orgánicos.
Catalasa	Citoplasma y mitocondria	Elimina peróxido de hidrogeno.

Nota: adaptado de Vicente S., Nahum M., 2013

El superóxido dismutasa es un metal enzima ampliamente encontrado en células procariontes y eucariontes, que permite la dismutación del ion superóxido en peróxido de hidrógeno y cuya acumulación se evita por el sistema de catalasa/glutación peroxidasa, transformándolo en oxígeno no molecular, agua y glutación oxidado. La actividad de estas enzimas debe estar en equilibrio para mantener el equilibrio redox intracelular. (Robbins D., 2011).

Además de las enzimas descritas anteriormente, existe otra línea de defensa antioxidante que funciona sin intervención enzimática secuestrando los radicales libres que escapan de las enzimas antioxidantes. Estas moléculas secuestran a los iniciadores del proceso oxidativo, tales como Fe y Cu, los cuales aceleran la formación de ERO. Dentro de este grupo de secuestradores no enzimáticos se encuentran diversas proteínas y moléculas de bajo peso molecular como el glutación, la vitamina C, el ácido úrico o la taurina (Cayuela, 2010).

3.3.3.2 Sistemas de defensa secundarios

Por su parte, las defensas secundarias son aquellas que atrapan los radicales propagadores, deteniendo su efecto nocivo en las etapas iniciales, en el caso de las enzimas empleadas para esta defensa se hace uso de aquellas capaces de reparar y/o eliminar los productos resultantes por el daño oxidativo sufrido, como lo son las oxidorreductasas específicas de proteínas que reducen los puentes disulfuros mixtos formados por los radicales libres, las proteasas, degradan proteínas modificadas y reducen el daño oxidativa mente previniendo la acumulación en la célula, el Glutación peroxidasa no dependiente de selenio (GSHpx), el cual reduce hidroperóxidos a alcoholes, las fosfolipasas eliminan ácidos grasos dañados, los sistemas de reparación de ADN, entre otros (Cayuela, 2010).

Mientras que su contraparte no enzimática está determinada por una serie de compuestos llamados depuradores de radicales libres, entre los cuales encontramos pequeñas moléculas los cuales intervienen logrando retrasar la producción y acción de los radicales libres, como la vitamina E, distintos carotenoides, flavonoides, las ubiquinonas o la bilirrubina (Robbins D., 2011), la vitamina A, los carotenoides, curcumina, resveratrol, selenio, vitamina B; mientras que los minerales selenio, cobre, zinc y magnesio forman parte de la estructura molecular de algunas de las enzimas antioxidantes. Las vitaminas C y E, los carotenoides, el selenio y flavonoides son las moléculas químicas antioxidantes más conocidas, estas moléculas actúan como una red que, a través de una serie de reacciones redox, evita el daño por ERO (Argelia L., 2012).

Tabla 12*Antioxidantes no enzimáticos*

Antioxidante	Función fisiológica
Vitamina E	Capta los radicales libres en membrana evitando la lipoperoxidación
Vitamina C	Efecto eliminador de radicales y recicla la vitamina E. Ambas vitaminas E y C trabajan como antioxidantes
Glutati3n	Tiene varios efectos en la defensa antioxidante celular
Ácido lipoico	Antioxidante y sustitutos eficaces del glutati3n
Carotenoides	Antioxidante de lípidos
Ubiquinonas CoQ10	Efectos de gran utilidad como antioxidante

Nota: Adaptado de Vicente S., Nahum M., 2013

3.3.4 Ingesta de antioxidantes

A pesar de que nuestro cuerpo dispone de sus propias defensas antioxidantes, se necesitan los antioxidantes provenientes de la dieta; de hecho, parte de esos sistemas de protección precisan de los antioxidantes de los alimentos para realizar su funci3n y dependen de ellos para frenar a los radicales libres (Nicodemo C., 2017). No obstante, no se trata de consumir la mayor cantidad posible de antioxidantes por medio de los alimentos, sino de llevar una dieta equilibrada de alimentos ricos en vitamina E, vitamina C, carotenoides o que presenten cierta capacidad antioxidante como los fen3licos (Montse V., 2007) y cuidar el estilo de vida, si lo que se desea es envejecer saludablemente y ayudar a prevenir enfermedades (Nicodemo C., 2017). En la tabla 11 se muestran los alimentos ricos en vitaminas capaces de ayudar a reducir el estr3s oxidante, ingeridos en la dieta humana. Los flavonoides se encuentran en la pulpa comestible de frutos como los cítricos, Así mismo dentro de los alimentos que cuentan con antioxidantes podemos destacar el té verde/negro, el vino tinto, las frutas, el café, plantas aromáticas, cebollas, entre otros que se mencionan en la tabla 13. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor (Nicodemo C., 2017).

Tabla 11*Alimentos ricos en vitaminas con actividad antioxidante*

Vitamina	Fuente alimentaria
Vitamina E	Principales fuentes: Aceites vegetales, aceites de semillas prensadas en frío, germen de trigo, maíz, almendras, avellanas, girasol, frijol de soya, nuez, maní Fuentes secundarias: papas, apio, repollo, frutas, pollo, pescado, pimentón.
Vitamina C	Frutas: Limón, naranja, lima, guayaba, mango, kiwi, fresa, papaya, mora, piña Verduras: tomate, espinacas, perejil, repollo, coliflor, brócoli, lechuga, pimentón
Carotenoides	Betacaroteno: verduras y frutas amarillas y naranjas, verduras verdes oscuro Alfa caroteno: Zanahoria Licopeno: Tomate Luteína y zeaxantina: brócoli, verduras de hoja verde oscuro

Nota: adaptado de Marcia Avello y Mario Suwalsky (2006)

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. Estas sustancias se conocen como compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides y derivan todas ellas del fenol (Martin G., 2017). Químicamente, los compuestos fenólicos son sustancias que poseen un anillo aromático, un anillo benceno, con uno o más grupos hidróxidos incluyendo derivados funcionales (Isabel M., María j. y Gaspar R., 2000), son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos, hasta polímeros complejos como los taninos condensados y la lignina (Figura 17). Dentro de los compuestos fenólicos también se encuentran pigmentos flavonoides un grupo destacable entre los compuestos fenólicos también conocidos como bioflavonoides, forman un grupo de alrededor de 3,000 compuestos fenólicos que tienen una estructura química similar, dotándolos de propiedades funcionales importantes al ser consumidos (Martin G., 2017).

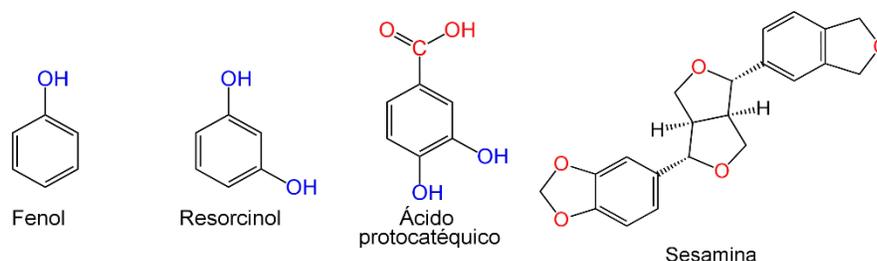


Figura 17.- Estructuras químicas de algunos compuestos fenólicos. Creación propia a base de Martin G., 2017.

Los compuestos fenólicos que encontramos en los distintos alimentos constituyen una fracción muy compleja formada por un número muy grande de compuestos, algunos todavía no identificados. La concentración en polifenoles de cualquier alimento también es muy variable, porque depende de muchos factores tales como la variedad o el grado de maduración del vegetal. Además, los procesos tecnológicos y los hábitos culinarios del consumidor pueden reducir en gran parte los fenoles del alimento (Eva Gimeno, 2004).

Los polifenoles son el grupo de antioxidantes que más abundan en nuestra dieta. Su acción antioxidante corresponde a su estructura química, la misma que es adecuada para atrapar radicales libres. Otra de las razones por las que los polifenoles tienen actividad antioxidante es debido a que de forma indirecta actúan como agentes quelantes de iones de metales de transición, por su capacidad de inhibir, activar o proteger enzimas específicas en el organismo (Viña, 2013). Hay pruebas de que, además de sus propiedades antioxidantes, estos compuestos fenólicos tienen una actividad biológica importante, como los antibióticos, antiparasitarios y citotóxicos (Kozubek A.: Tyman J.H.P, 1999).

Tabla 12

Alimentos con altos contenidos de antioxidantes polifenólicos

Alimento	Antioxidante	Cantidad
Frijol de soya	Isoflavonas	0.1-1.5 mg/g de soya
	Ácidos fenólicos	158 mg/ml de soya
Té verde, te negro	Polifenoles	400- 500 mg / 5 g de hojas
	Catequinas	1.4 mg/100 g té negro y 2.85 mg/100 g té verde
Café	Esteres fenólicos	41mg/g café verde, 19mg/g tueste ligero,
		10mg/g tueste medio y 5 mg/g tueste oscuro.
Vino tinto	Ácidos fenólicos	2374,25 - 3610,43 mg/L
	Polifenoles	1869,19 - 3138,85 mg/L
Romero	Ácido carnósico	10 mg/g
	Ácido rosma rico	3mg/g
Cítricos y otras frutas	Bioflavonoides	100,3724 mg/g
	Chalconas	468.8± 3.01 mg/l
Cebollas	Quercetina	18,33mg/L
	Kaempferol	9,75 mg/L

Nota: adaptado de Marcia Avello y Mario Suwalsky (2006)

10.1.1 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos fenólicos pigmentarios procedentes del metabolismo secundario de las plantas. Estos metabolitos pueden encontrarse en todas las familias de plantas superiores y en casi todas las especies vegetales; es decir, que los flavonoides están presentes en todas las frutas, verduras y hierbas aromáticas; originados mediante una ruta biosintética mixta fenol (Martin G., 2017). De todos los compuestos fenólicos, el grupo de los flavonoides es el más extendido en la naturaleza y dentro de ellos, los flavonoles son los que poseen una mayor actividad antioxidante (Eva Gimeno, 2004).

Su estructura química está compuesta de tres anillos: benzopirano 2-fenil, un anillo dihidroxilados fenólicos en las posiciones 5 y 7, (denotado A), un segundo anillo fenólico generalmente mono hidroxilado, orto di hidroxilados o vic- tri hidroxilados (que se denota B), que también pueden contener grupos metoxi ($O - CH_3$) como sustituyentes y el anillo C, que puede ser un anillo heterocíclicos con oxígeno pirano, pirylium o de forma pirona (Martínez F; González G; M. Culebras; J. Tuñón, 2002). Todos los flavonoides son estructuras hidroxiladas en el anillo aromático y, por tanto, son poli -fenólicas. Poseen un carbonilo en posición 4 y las variaciones se producen en las posiciones 1, 2 y 3 de la unidad C3 y en el anillo C (López, 2000).

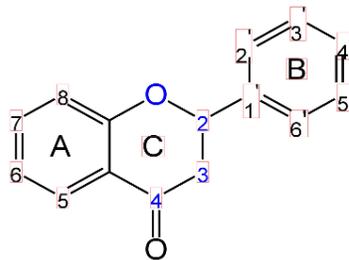


Figura 18.- Estructura química básica de 2-fenil-cromona, compuesta de un anillo di-hidroxilados fenólicos en las posiciones 5 y 7, (denotado A), un segundo anillo fenólico generalmente mono hidroxilado, orto di hidroxilados o vic- tri hidroxilados (denota B), que también pueden contener grupos metoxi como sustituyentes y el anillo C, que puede ser un anillo heterocíclicos con oxígeno pirano, pirylium o de forma pirona. Creación en base a Martínez F; González G; M. Culebras; J. Tuñón, 2002.

Tabla 13

Clasificación de los flavonoides según las variaciones en su estructura base.

Clasificación	Grupo y ubicación	Compuesto más estudiado
Flavanos	Un hidroxilo en la posición 3 del anillo C	Catequina
Flavonoles	Un carbonilo en la posición 4 y un hidroxilo en la posición 3 del anillo C	Quercetina y Kaempferol
Flavonas	Un carbonilo en la posición 4 del anillo C	Diosmetina
Antocianidinas	Un hidroxilo en la posición 3 y un doble enlace entre carbono 3 y 4 en el anillo C	Cianidina

Nota: Fuente: adaptado de Martínez (2002), citado por Moreno (2011).

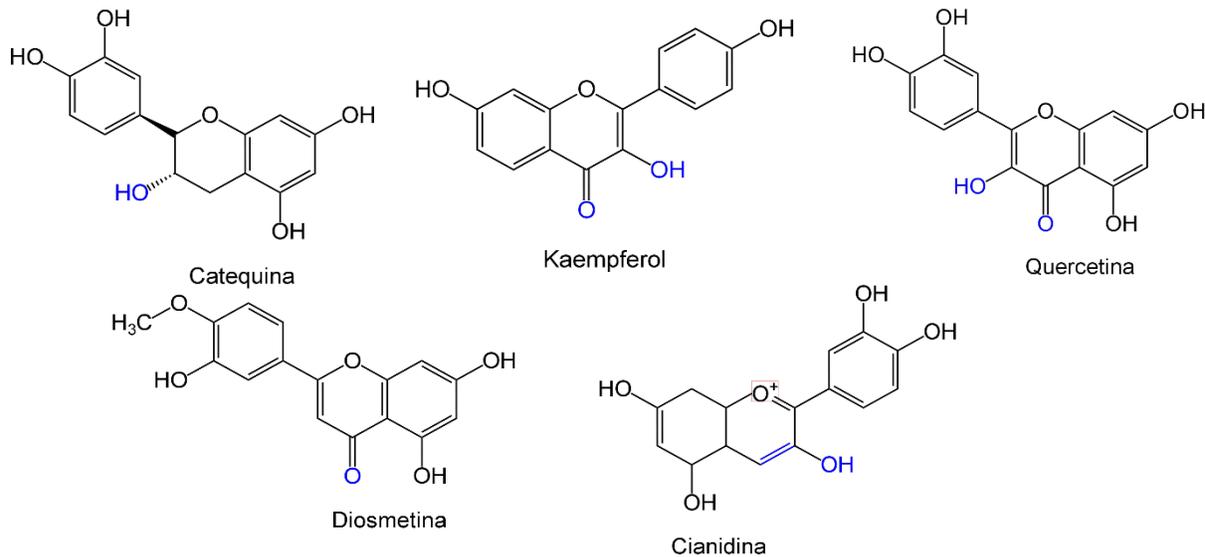


Figura 19.- Estructuras químicas de los flavonoides más comunes en la dieta. Creación propia adaptada de Moreno, 2011.

De entre los flavonoides identificados se destacan la quercetina, hesperidina, rutina, narangina y limoneno, por su alto consumo en la dieta. El valor de ingesta media estimado de estos compuestos es de 23 mg al día, predominando el consumo de quercetina (figura 20) con un valor medio de 16 mg por día, ingiriéndose principalmente del té verde (Cristopher I., Elvis C. y Jorge G., 2009).

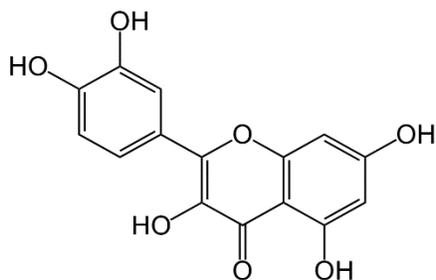


Figura 20.- Estructura química de la quercetina

Estudios han mencionado que la absorción de los flavonoides se genera en el lumen intestinal, antes de ser absorbido un flavonoide es escindido, dando por resultado, por una parte, su aglicona y por otro su glicósido; teniendo este último mayor solubilidad en agua se absorbe rápidamente, sin embargo, la aglicona puede tardar hasta tres horas en ser absorbida. Por lo que en promedio las concentraciones pico de los flavonoides se da a las 1.75 horas (Cristopher, 2009).

Posterior a su consumo los flavonoides se excretan por dos vías, los no solubles en agua se excretan junto con la bilis al duodeno, y los solubles a las vías urinarias con la orina, siendo esta última la salida predominante, si es metilado y sulfatado será excretado por la vía hepática (Cristopher I.; Elvis C.; Jorge G., 2009).

10.1.1.1 Actividad antioxidante de los flavonoides

Los flavonoides actúan fundamentalmente como tampones, y capturan radicales libres para generar el radical fla vínico, mucho menos reactivo, ya que en él los electrones desapareados están más deslocalizados (Martin G., 2017). La actividad antioxidante de estos compuestos polifenólicos es un resultado de la combinación de sus propiedades quelantes de hierro o cobre evitando así la formación de las especies reactivas de oxígeno producidas por la reacción de Fenton (Figura 21) (Martínez F., González G., 2012), y como sistema de defensa antioxidante secundario, además de la inhibición de las oxidasas: lipooxigenasa, ciclooxigenasa, mieloperoxidasa y la xantina oxidasa; evitando así la formación de especies reactivas de oxígeno y de hidroxi-peróxidos orgánicos (Cristopher I.; Elvis C.; Jorge G., 2009).

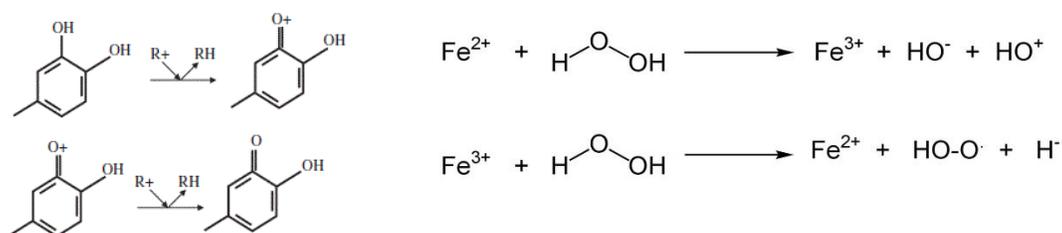


Figura 21.- A la derecha se encuentra la formación del radical fla-vínico por la captura de radicales libres por parte de un polifenol, mientras que a la izquierda esta la reacción de Fenton. Adaptado de Martínez, 2012.

De acuerdo con Cartaya O. (2001), la estructura de los flavonoides influye de manera decisiva en la actividad antioxidante que estos realizan, siendo las siguientes disposiciones estructurales que imparten la mayor actividad antioxidante:

- La sustitución 3´4´orto dihidroxi en el anillo B (catequinas, luteolina y quercetina).
- La disposición de grupos hidroxilos en posición meta en los carbonos 5 y 7 del anillo A (Kaempferol, apigenina).
- El doble enlace entre los carbonos 2 y 3 en combinación con los grupos 4 ceto y 3 hidroxilo en el anillo C (quercetina).

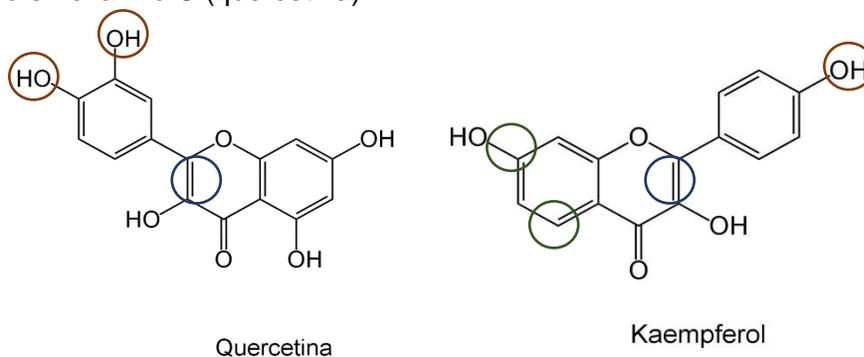


Figura 22.- Señalamiento de las disposiciones estructurales que imparten una mayor actividad antioxidante en los flavonoides. Creación propia en base a datos de Cartaya O., 2001.

Sin embargo, alteraciones en la disposición de los grupos hidroxilos y la sustitución de grupos hidroxilos por glicosilación disminuye la actividad antioxidante (Cartaya O., 2001).

La quercetina presenta una fuerte actividad antioxidante siendo esta 5 veces superior a la vitamina E y C, con una hidrosolubilidad similar a la de la vitamina E43. Desde el punto de vista de protección antioxidante, se consideran niveles óptimos de vitamina E en sangre, los valores por encima de 28-30 $\mu\text{mol/L}$ (Mercedes M., 2002). La quercetina ha mostrado efectos con ambas vitaminas, en el caso de la interacción con la vitamina C esta extiende el tiempo de vida útil del antioxidante y generando efectos sinergizantes con la vitamina E (López, 2000).

10.1.2 Flavonoides presentes en el nopal

En el estudio de Kuti (2004) citado por Moreno García (2011) donde mediante el análisis de cuatro diferentes variedades de cactáceas comprobó la presencia de flavonoides, siendo el predominante la quercetina (tabla 14). Sin embargo, otro estudio realizado por Caí (2010) citado por Mendoza García (2010) menciona que al purificar y caracterizar los flavonoides presentes en la cascara de *Opuntia Ficus-indica*, los principales compuestos que se extrajeron fueron Isorhamnetina 3-O-(2,6-dirhamnosil) glucósido e isorhamnetina 3-O-D-rutinósido.

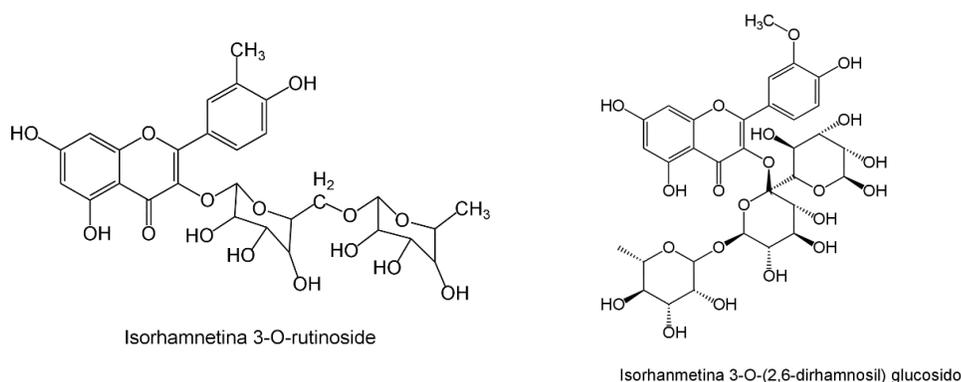


Figura 23.- Estructuras presentes en la cascara de *Opuntia Ficus-Indica*. Creación propia en base a datos de Moreno G., 2011.

Tabla 14

Concentración de flavonoides en microgramo por gramo, en diferentes muestras de la especie *Opuntia*

Especies	Kaempferol	Quercetina	Isorhamnetina	Total
<i>O. Ficus-indica</i>	2.2 +/- 0.3	43.2 +/- 2.5	24.1 +/- 1	69.5
<i>O. lindheimeri</i>	1.1 +/- 0.4	90.5 +/- 11.5	1.9 +/- 0.5	93.5
<i>O. streothacantha</i>	3.8 +/- 0.5	51 +/- 4.6	----	3.8

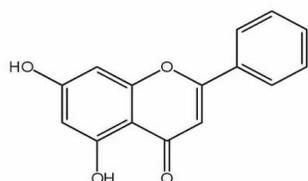
O. stricta

9.8 +/- 3

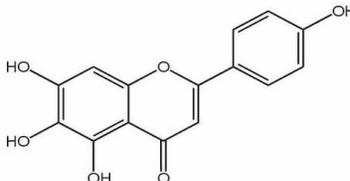
9.8

Nota: Fuente: adapto de Kuti (2004), citado por Moreno García (2011)

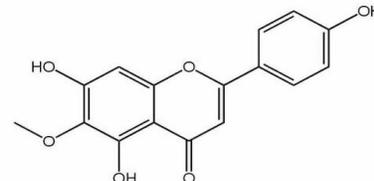
Así mismo en un estudio realizado por Gustavo Adolfo (2017), determinó la posible estructura química de cinco flavonoides presentes en el extracto etanólico de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.): 5,7-Dihidroxi-4',6-dimetoxiflavona; 4',5,6,7-tetrahidroxi-6-metoxiflavona; 5,7-Dihidroxi-4',6-dimetoxiflavona; 6-hidroxi-4'-metoxiflavona (Figura 24).



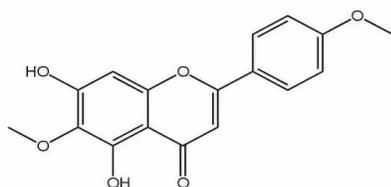
5,7-Dihidroxi-4',6-dimetoxiflavona



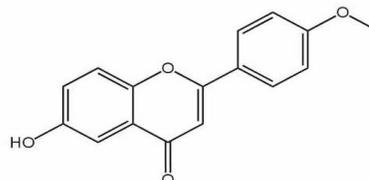
4',5,6,7-tetrahidroxi-6-metoxiflavona



4',5,7-trihidroxi-6-metoxiflavona



5,7-Dihidroxi-4',6-dimetoxiflavona



6-hidroxi-4'-metoxiflavona

Figura 24.- Estructuras propuestas de flavonoides aislados del extracto etanólico de cladodios de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Adaptado de Gustavo A., 2017.

Los avances en el estudio de los radicales libres, EO y su participación en el desarrollo de enfermedades, han permitido identificar sus mecanismos de acción; así como el de moléculas con capacidad de inhibir o modular sus efectos en la célula. Por lo anterior, se ha propuesto que la dieta rica en antioxidantes puede prevenir o disminuir el deterioro celular y funcional del organismo, generado por el exceso de EO (Vicente S., Nahum M., 2013). La suplantación de los antioxidantes por parte de la dieta diaria no es la única forma de consumir estos compuestos, con el paso del tiempo se han generado suplementos alimenticios con la finalidad de modificar el tiempo de vida que presentan, así como de facilitar su distribución y consumo, en lugares donde el acceso a estos está restringido, como es el caso de los viajes marítimos con la vitamina C, la cual ayuda a prevenir el deterioro físico por falta de nutrientes apropiados (Marta C., 2015).

A través de esta propuesta, se han realizado múltiples estudios empleado terapias antioxidantes con resultados positivos; sin embargo, también se han reportado resultados negativos con el uso de antioxidantes. Estos resultados no concluyentes o contradictorios pueden deberse a múltiples causas, como al inicio precoz o tardío de la intervención, intervenciones poblacionales reducidas o con riesgo elevado, mezcla de intervenciones profilácticas, prevención de enfermedades, dosis insuficientes, monoterapia o combinaciones, variabilidad biológica o clínica, estudios experimentales sobre tejidos animales o humanos, entre otros (Vicente S., Nahum M., 2013).

De igual forma se cree que un sobreconsumo de suplementos antioxidantes sintéticos puede generar un estado denominado “estrés anti oxidativo” el cual inhibe la oxidación, resultando perjudicial para el organismo (tabla 15), por lo que se recomienda ingerir antioxidantes a través de la dieta alimentaria ya que estos van acompañados de otros macronutrientes y micronutrientes (Paco F., 2017).

Tabla 15

Efectos adversos del consumo de suplementos antioxidantes en exceso

Suplemento vitamínico	dosis excesivas	Reacciones adversas
Vitamina C	>2 g/día	La sobredosis de esta vitamina puede provocar diarreas entre otras complicaciones.
Vitamina E	>1 g/día	El exceso de esta vitamina puede ocasionar conjuntivitis, daños en las mucosas de los labios o en la piel, e incluso caída de pelo
Selenio	150 mg/día para niños 400 mg/día para adultos	En exceso se vuelve toxico ocasiona caída de pelo, alteración de las uñas, dientes y nauseas.
Vitamina A	>30000 RAE/día	Puede provocar dolores de cabeza e irritabilidad y alteraciones en el metabolismo óseo .

Nota: Fuente: Adaptado de Montse V.,(2007). La dosificación fue adaptada de Larry E., 2022, el acrónimo RAE hace referencia a los equivalentes de la actividad del retinol; 1 mcgg retinol = 3,33 unidades.

10.1.4 Métodos de evaluación antioxidante

Con base en la literatura de Jennifer Tovar (2013) se han descrito diversos métodos para evaluar la capacidad antioxidante que presentan los alimentos y la fauna, ya que esta no puede ser medida de manera directa, se hace una determinación de los efectos que presenta el compuesto oxidante a través de un proceso de oxidación controlado, repetido múltiples veces. Según Huang (2005) en base a la reacción química que se originan, los métodos de evaluación antioxidante se clasifican dos: Ensayos basados en la reacción de transferencia de átomos de hidrogeno (HAT) (tabla 16) los cuales monitorean una reacción cinética competitiva, compuestos de un generador radical libre sintético, una prueba molecular oxidable y un antioxidante y los ensayos basados en la reacción por transferencia de electrones (ET) que involucran una reacción redox con el oxidante como un indicador del punto final de la reacción. De entre estos ensayos se destacan el método *DPPH*[·], ya que es simple, rápido y de bajo costo, además del método de *ABTS*^{·+} ya que es aplicable en antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos (Jennifer Tovar, 2013).

Tabla 16

Descripción de las características más importantes de los métodos de medición de actividad antioxidante basados en HAT

Características	TRAP	ORAC	DCFH-DA	Ensayo Crocina
Especie iniciadora	AAPH (radicales de peróxido)	AAPH/	AAPH (radicales de peróxido)	ABAP (radicales peróxidos)
Medida	Oxígeno consumido	Inhibición de la caída de la fluorescencia de PE/FL	Inhibición de oxidación de DCFH.DA	Inhibición de la oxidación de crocina
Técnica	Electrodo de oxígeno	Fluorimetría	Espectrofotometría / Fluorimetría	Espectrofotometría
Cuantificación	Longitud de fase de retraso	565 nm técnica AUC	Absorbancia de 504 nm- 529 nm	Absorbancia de 443 nm/ competición cinética

		Fenoles,		
	Alimentos y	alimentos,	Muestras	Muestras
Muestras	muestras	bebidas,	biológicas	biológicas
	biológicas	muestras		
		biológicas		

Nota: Fuente: adaptado de Jennifer Tovar, (2013).

10.1.4.1 Método de ABTS

Método propuesto por Miller en 1993, empleando el catión radical ácido 2,2'-azino-bis-(3-etiltiazolinabencenosulfónico-6), un cromóforo azul-verde y estable que tiene un espectro de absorción de longitud de onda larga característico (Shahidi, 2015). En primer lugar, se generan cationes radicales de ABTS; a partir de peróxido de hidrógeno H_2O_2 u otros oxidantes fuertes como persulfato potásico en presencia de meta mioglobina generan un radical intermedio ferril mioglobina que luego reacciona con ABTS para formar el catión radical ABTS. A continuación, los antioxidantes pueden neutralizar estos cationes radicales mediante la transferencia de electrones u átomos de hidrógeno (ET y HAT). Esto hace que el catión radical (cromóforo) vaya perdiendo coloración y por lo tanto la disminución de la absorción espectrofotométrica (H. Breña, 2017). Este método es el más indicado para ensayos de compuestos coloreados, como el caso de los antocianos, reduciendo posibilidades de interferencias de los compuestos coloreados (Martha Lucia, 2020).

10.1.4.2 Método de DPPH

Este método emplea al radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo conocido por las siglas DPPH, fue desarrollado por desarrollado por Brand-Willams, para determinar la actividad de atrapamiento de radicales libres. El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estable, presenta una fuerte coloración violeta, es comercialmente disponible y no tiene que ser generado *in situ* como el ABTS (Julián L., 2012). El radical libre de este método es susceptible a reaccionar con compuestos antioxidantes mediante la donación de hidrógeno por parte de un agente antioxidante. Cuando el DPPH reacciona con un compuesto antioxidante, que puede donar hidrógeno, se reduce, ocasionando que su coloración violeta característica generada por la deslocalización electrónica, vire a un tono amarillo claro (figuran 25) siendo el amarillo un color indicador de las propiedades antioxidantes de las muestras analizadas de interés (Domínguez, 2013). Cuando se agrega un compuesto antioxidante al radical DPPH*, disminuye la absorbancia de la solución la cual es medible por medio de un espectrofotómetro a una longitud de onda de 517 nm de absorbancia (Martha Lucia, 2020).

11 Justificación

Actualmente en la sociedad se ha presentado una tendencia sobre el consumo de productos variados de calidad y más saludables, entre estos productos se destaca el consumo de antioxidantes ya sean de origen natural o mediante la ingesta de alimentos enriquecidos con estos. El efecto benéfico de los antioxidantes se encuentra relacionado con la atenuación de los efectos de algunas enfermedades que se encuentran relacionadas con la inestabilidad del sistema oxidativo como son: cardiovasculares, gástricas, cancerígenas, respiratorias, entre otras (Vázquez y Radilla, 2015). Es debido a estos beneficios que el estudio de la capacidad antioxidante que presentan los alimentos de origen natural es una alternativa para determinar la eficacia de fuentes de tratamiento de bajo costo y de fácil acceso para la población, en el caso de la disminución de riesgos de ciertas afecciones y es realizado tanto en el sector industrial alimenticio, como en el cosmético y farmacéutico. Entre los alimentos que cuentan con capacidad antioxidante se encuentran los nopales (*Opuntia Ficus Indica*) originarios de México, país que es el mayor productor de este cultivo a nivel mundial con una producción anual de 853 mil toneladas de nopal (Edgar, 2022), de las cuales el 30% es producido por Morelos. Así mismo la población mexicana presenta un alto consumo de nopal (90%) en sus diferentes presentaciones (FAO, 2018).

Es gracias a la resiliencia del nopal que se ha denotado como un cultivo factible para las regiones semiáridas subtropicales y tropicales del mundo, motivo por el cual ha sido estudiado para denotar más de sus propiedades benéficas no solo en el sector alimenticio y ganadero, se ha determinado que el cultivo cuenta, además de la actividad antioxidante, con actividad hipoglucemiante, hipolipemiante y diurética, siendo empleado en la disminución de efectos en ciertas enfermedades, dichas características están comprendidas por sus compuestos carotenoides, fenoles, vitamina C y presenta 17 aminoácidos (AA) los cuales varían en concentración con respecto a si se consume crudo o cocido, denotándose como un alimento funcional natural (Serna, 1998). Si bien existen estudios sobre la cuantificación de polifenoles totales en el nopal, no se han realizado comparación de la capacidad antioxidante que este presenta tras ser sometido a tratamientos térmicos y deshidratación en contra del estado natural, ya que como se mencionó anteriormente la concentración de ciertos componentes presentes en el cultivo varían según su forma de consumo. Los resultados del presente trabajo pretenden ser un aporte con respecto a los beneficios que presenta el nopal indicando cual presentación de consumo, de las señaladas antes, contiene una mayor capacidad antioxidantes, de igual manera pretende mostrar una forma para diseminar su consumo como botana deshidratada, ya que, pese a su popularidad en México, su consumo internacional como verdura no es el esperado debido a su bajo atractivo. El deshidratado es generalmente empleado en las botanas relacionadas a frutas y vegetales, ya que ayuda a extender su tiempo de vida, hace más fácil su transporte, almacenamiento y en el caso de este cultivo elimina el mucilago principal componente que aporta a su baja popularidad en el extranjero.

11.1 Objetivo general

Determinar la actividad antioxidante del nopal originario de Tepoztlán en fresco y deshidratado.

11.2 Objetivos particulares

- Determinar los parámetros necesarios para implementar la técnica de deshidratación con aire caliente en las muestras del material vegetal seleccionado.
- Realizar el estudio comparativo de deshidratación con y sin diferentes conservadores
- Comparar la evaluación antioxidante del nopal fresco y deshidratado

11.3 Metodología

11.3.1 Material vegetal.

El estudio se realizó utilizando material biológico (nopal de la especie *Opuntia ficus-indica*) colectado manualmente de la zona productora de Nopal Verdura de San Juan Tlacotenco (19°01'04.0"N 99°05'42"W) municipio de Tepoztlán en el estado de Morelos, el cual se encuentra a una altitud de 2,351 m sobre el nivel del mar (Google Earth 2017) con la colaboración del productor local; la zona presenta un clima generalmente frío en temporada de lluvia (de junio a septiembre) y en invierno, el resto del año presenta un clima templado.

11.3.2 Proceso de desinfección.

Para evitar cualquier incidencia antes mencionada el material biológico fue desinfectado previo a cualquier tratamiento que pudiera recibir al realizar el proceso experimental, de dicha investigación. El material biológico sometido a un lavado con agua a 0°C mediante un chorro constante por alrededor de 2 min., esto para remover cualquier residuo de espinas o piel sobrante posteriormente este se sumergió en agua clorada a base del desinfectante comercial "*Microdyn*" siendo su relación de 8 gotas del producto por 1 L de agua, acorde a las recomendaciones del desinfectado utilizado, por un tiempo de 10 min, para finalmente pasar por otro lavado con agua a 0°C y su posterior secado con toallas de papel.

11.3.3 Proceso de corte.

El proceso experimental de corte se inició con un ancho de 1 cm y un largo de 2 cm, el grosor existente en las muestras era variado ya que dependía enteramente de la materia

biológica, lo cual ampliaba el margen de tiempo necesario para que su deshidratación fuera total; posteriormente a estas muestras se comenzó a probar con variaciones de cortes para encontrar el que diera mejores rendimientos, no solo de tiempo y rendimiento sino también de porcentaje de masa seca y apariencia; empleándose así 6 diferentes tipos de cortes, espagueti (C1), enteros (C2), tiras (C3), Mitad arriba (C4), mitad abajo (5) y rebanada (6). Como se muestra en la figura 26.

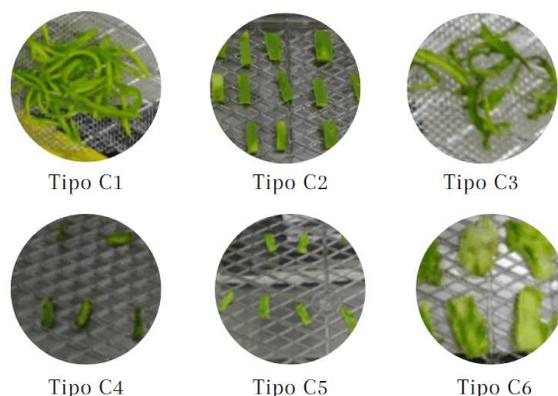


Figura 26.- Tipos de corte de la materia biológica

Una vez seleccionado el tipo de corte que cumplía con los estándares, anteriormente mencionados, se comenzó con la delimitación de medidas para las dimensiones de la muestra a tratar mediante el proceso de deshidratación por medio de aire caliente.

11.3.4 Acondicionamiento de charolas.

11.3.4.1 Determinación de posición.

El deshidratador marca Weston modelo 75-0201-W cuenta con un total de 10 charolas deshidratadoras, las cuales se denominaron numéricamente por su posición de manera ascendente, se implementaron mediciones en las tres secciones del gabinete deshidratador, para determinar la uniformidad de la temperatura, de igual manera se emplearon materiales para ajustar la separación existente en la superficie de las charolas, tales como: papel encerado (M1), rejillas de metal (M2) y rejillas plásticas (M3).

Tabla 16

Variaciones de temperatura según la posición de las charolas deshidratadoras

Sección	Temperatura (°C) a intervalos de 60 min		
	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3
Inferior	46	47	49
Media	39	38	39
Alta	37	37	36

11.3.4.2 Determinación de tiempo.

Las pruebas para la determinación de tiempo de deshidratación total de la materia biológica comenzaron con un tiempo de 60 min, el cual se fue prolongando en interfases de 60 min, hasta llegar a los 240 min, tiempo recomendado según el artículo de Verónica Pérez (2009); con una temperatura de 45 °C para las primeras pruebas la cual posteriormente fue cambiada a 63° C.

11.3.5 Ensayos con conservadores.

Previo al proceso de deshidratación final, se realizaron pruebas de conservación del producto final empleando 6 conservadores diferentes descritos en la literatura, benzoato de sodio (MC1), ácido cítrico (MC2), ácido ascórbico (MC3), bicarbonato de sodio (MC4), ácido acético (MC5) y cloruro de sodio (MC6); a concentraciones de 1 % y 0.5 %, con el propósito de que el producto deshidratado no presentara desarrollo de microorganismos o moho (SADER, 2022). En todos los casos se aplicó el conservador por medio de aspersión por ambos lados de las muestras una vez colocadas en las charolas. El proceso de deshidratación se generó a una temperatura de 63° C, con un tiempo de 90 minutos, este proceso se generó por triplicado; así mismo se repitió el procedimiento con muestras que tuvieran los 6 conservadores extendiendo el tiempo de exposición a 240 min.

11.3.6 Preparación de muestras.

La materia biológica seleccionada corresponde a un grupo de varias hojas de nopal (pencas) (*Opuntia ficus-indica*) frescas, las cuales se mantuvieron en refrigeración a -4° C por un periodo de 12 horas, previo a su deshidratación, cada penca se cortó en trozos pequeños con una longitud aproximada de 40.7 - 41 mm, un ancho de 11.6 -11.8 mm y un grosor de 2.1 - 2.8 mm. Una vez cortado el nopal se pesaron aproximadamente 41 gr de muestra por duplicado, para generar las muestras blanco que no contienen conservador (MB), las muestras con cada conservador mismo que se aspersor por ambos lados de los trozos cortados (MC1-MC6).

11.3.6.1 Pruebas de tratamiento pre deshidratado.

Se realizaron pruebas de tratamiento pre-deshidratación, sometiendo a la materia biológica a cambios inducidos por calor húmedo y seco (cocción) respectivamente. Para el caso de calor húmedo se emplearon 110 gr de muestra, de nominada NH, la cual fue lavada y colocada directamente en agua en ebullición por un tiempo estimado de 6 min, posterior a este, la muestra fue colada y almacenada en un frasco previamente esterilizado. Continuando con la muestra sometida a calor seco semi directo (NA), se utilizaron 130 gr de material biológico limpio y fueron sometidos a un proceso seco de asado a la plancha alcanzando una temperatura variable de entre 80-120 °C a través de un fogón de gas, el tiempo del proceso duro de entre 4- 6 min dependiendo del tamaño y grosor del corte de muestra a tratar; dichos tratamientos se hicieron con el propósito de hacer denotar cambios en las cantidades presentes del compuesto antioxidante. El proceso de deshidratación se generó a una temperatura de 63° C, con un tiempo de 240 minutos.

11.3.7 Deshidratación.

Para este proceso se utilizó un deshidratador marca Weston modelo 75-0201-W (figura 27), que consta de un gabinete de deshidratación, perilla de control de temperatura, 10 charolas deshidratadoras y 4 soportes. El deshidratador ocupa un voltaje de 120 volts y 60 Hz. Este procesador funciona con un ventilador, el cual hace recircular el aire caliente en el gabinete deshidratador, eliminado así el agua que se encuentra presente en algunos alimentos mediante la evaporación.



**Figura 27.-
Deshidratador
marca Weston
modelo 75-0201-
W junio 2022**

Se colocaron los trozos de muestra en las charolas del deshidratador, las charolas 1-5 contenían las muestras (MC5) y las charolas 6-10 contenían las muestras (MB). El proceso se llevó a cabo por un tiempo estimado de 240 min, a una temperatura de 63 °C y un porcentaje de humedad promedio de 47.375 %, considerando como base el proceso descrito por la SAGARPA, (SAGARPA, 2022).

11.3.8 Tipo de molienda

Posteriormente al proceso de deshidratación mediante aire caliente se realizaron pruebas de molienda sobre la muestra deshidratada para lo cual se emplearon dos equipos y se realizó una comparativa del producto final obtenido; dichos equipos fueron:

- Mortero de porcelana de 155 mm de diámetro interno y capacidad para 500 ml con pistilo de 165 mm de longitud (figura 28).
- Molino Manual Nixtamal Cuerpo Hierro Acabado Estañado San bar (figura 29).



Figura 31.- Mortero de porcelana



Figura 29.- Molino Manual Nixtamal

11.4 Evaluación antioxidante.

Se utilizó el modelo de DPPH (hidrato de 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo, Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Alemania), para determinar la actividad de atrapamiento de radicales libres, según el método descrito por Domínguez (2013).

Las muestras ensayadas fueron: Nopal deshidratado (ND), nopal fresco sin conservador (NF), nopal asado (NA), nopal hervido (NH), nopal asado deshidratado (NAD), nopal hervido deshidratado (NHD) y quercetina (Q) como referencia. Con el material vegetal correspondiente a las muestras se prepararon soluciones stock, disolviendo una cantidad específica (50 mg) de cada una en 2.5 ml de etanol. Se re disolvió una cantidad apropiada de cada muestra en etanol para tener una concentración de 1000 ppm, 100 ppm y 10 ppm. La solución de DPPH (50 μ M) en etanol se preparó justo antes de las mediciones UV. Se mezclaron 1.5 ml de esta solución de DPPH con 0.5 ml de soluciones de las muestras en micro cubetas desechables de 2 ml con paso óptico; se mantuvieron en oscuridad durante 90 min a temperatura ambiente, luego se midió la absorción a 517 nm en un espectrofotómetro de luz UV/visible (Figura 30). El experimento se llevó a cabo por triplicado. La actividad antioxidante se calculó mediante la siguiente fórmula:



Figura 33.- Espectrofotómetro genesys 20, julio 2022

$$\% \text{ de inhibición} = \left(\frac{AB - AA}{AB} \right) \times 100$$

Donde:

- AB: Absorción de la muestra en blanco (t = 0 min).
- AA: Absorción del extracto probado o solución compuesta (t = 90 min)

Para la muestra de control, la absorción fue medida de una muestra en blanco que contiene la misma cantidad de etanol y DPPH.

11.5 Resultados y discusión

11.5.1 Determinación de parámetros para la deshidratación de las muestras

11.5.1.1 Análisis y tipo de corte.

En primera instancia todas las muestras con variaciones de cortes se sometieron a deshidratación por aire caliente en un intervalo de una hora, dicho proceso se repitió por triplicad, la materia vegetal presento intervalos irregulares de tiempo de secado, así como del % de masa seca (Tabla 17) y presencia a la vista, los datos registrados se sometieron a una prueba ANOVA utilizando el método de Tukey con un intervalo de confianza del 95% (Tabla 18). Los resultados individuales se en lista a continuación según la variación de corte correspondiente:

- Espagueti (C1) : De entre las muestras fue la que presento un tiempo corto de secado, superado por el Tipo C3, debido al poco volumen que presentaban, así como el área de contacto reducida, sin embargo, es por estas características que las muestras mostraron un amplio grado de contracción, secciones quemadas por el calor y pardeamiento.
- Enteros (C2) : En el intervalo de tiempo establecido para este análisis las muestras con corte C2, solo alcanzaron un secado parcial, casi nulo, se encontró la presencia de pardeamiento, especialmente en las zonas donde se retiraron las espinas de la materia vegetal, de igual forma la piel exterior se volvió rugosa en estas zonas y en los bordes de las muestras.
- Tiras (C3) : Presentaban mayores contracciones, ocasionando el enroscamiento múltiple de partes de la muestra, al contar con un volumen pequeño su tiempo de secado fue corto, generando que al momento de llevar al intervalo de tiempo determinado se presentaran varias zonas quemadas no solo en los bordes, se provo con la reducción del tiempo para este tipo de corte, sin embargo debido al grosor desigual y el tamaño, las partes más delgadas se quemaban rápido dejando las gruesas aun con presencia de humedad.
- Mitad arriba (C4) : Con este tipo de corte el secado fue más rápido que el tipo C2, pero menor que los otros, las muestras presentaron contracciones enroscándose en sí mismas, la piel se volvió rugosa en estas zonas y se presentaron concentraciones de pigmentación salvo en el centro.
- Mitad abajo (5) :Las muestras presentaron pardeamiento en los bordes y ligera rugosidad en la piel, a diferencia de las otras muestras estas no presentaron contracciones permaneciendo rectas hasta el final de secado, las zonas centrales eran las que más tardaron en deshidratarse manteniendo la coloración inicial de la materia vegetal.
- Rebanada (6):Este tipo de corte presentaba variaciones de grosor generadas en parte por la propia materia vegetal, es decir la piel limpia, y por el error humano generando un secado desigual de las muestras lo que ocasionaba que las partes más delgadas, los bordes, presentaran contracciones hacia el centro, de igual manera se presentó pardeamiento en estas zonas.

Tras el análisis de los resultados obtenidos con los diferentes tipos de cortes (Figura 31) se determinó que aquel que cumplía con los aspectos de secado total, así como mejor presencia a la vista era el corte C5, ya que al encontrarse la mitad expuesta con la baba del nopal este se adhería mejor a las charolas ofreciendo una superficie de contacto uniforme, lo cual les permitió conservar su forma original y reducir los tiempos del proceso.

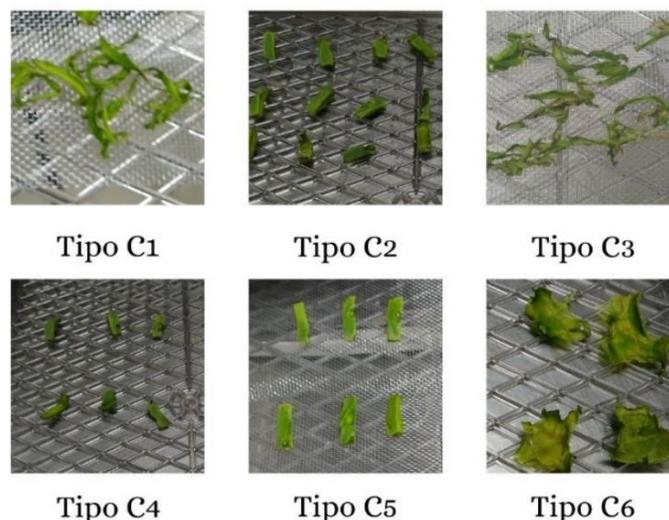


Figura 35.- Resultados obtenidos al someter la muestra a deshidratación por aire caliente, en un intervalo de una hora con variaciones en el tipo de corte, 2022.

Tabla 17

Porcentaje de materia seca según el tipo de corte

Tipo de corte	Tiempo de deshidratado (min)	% de masa final	Promedio del % de masa
C1	60	93.87	92.93 ± 0.865
C2	60	64.02	63.96 ± 0.095
C3	60	55.78	55.06 ± 0.720
C4	60	52.90	52.2 ± 0.655
C5	60	47.71	47.22 ± 0.930
C6	60	66.11	65.9 ± 0.297

Tabla 18

Comparación de los datos " Porcentaje de materia seca según el tipo de corte" utilizando el método de Tukey IC 95%

C1	N	Media	Agrupación
C1	3	92.93	A
C6	3	65.90	B
C2	3	63.96	C
C3	3	55.06	D
C4	3	52.20	E
C5	3	47.22	F

Nota: N: número de muestras. Las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$), las comparaciones se generaron con el programa Minitab18.

11.5.1.2 Acondicionamiento de charolas

Se observó que el espacio existente de separación de las charolas era demasiado grande para poder albergar a la muestra de manera óptima como se observa en la figura 32, por lo cual se generaron pruebas adecuando las charolas con los materiales M1 y M2. De manera experimental se observó que el material M1 interfería con el proceso de deshidratación, dicho material fue descartado y sustituido por el material M2, el cual mostraba una mayor fijación entre este y a la superficie de contacto de las muestras figura 33, ocasionando que estas se quedaran parcialmente adheridas a dicho material.

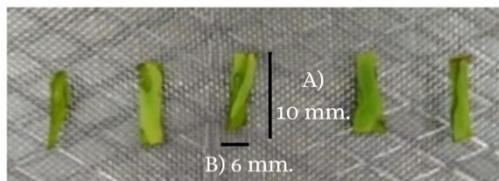


Figura 39.- Resultados de deshidratación en charolas sin adecuar. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6 mm



Figura 37.- Resultados de deshidratación en charolas adecuadas con M2. Las líneas representan la longitud siendo A) Largo = 10 mm y B) Ancho = 6.5 mm.

11.5.1.3 Determinación de posición de la muestra en el gabinete deshidratador

El deshidratador marca Weston modelo 75-0201-W consta con 10 charolas situadas una arriba de otra, las cuales se enumeraron de forma ascendente como posición 1, posición 2 y así hasta la décima para mantener un control con respecto a la posición de estas. Debido a la recirculación del aire caliente en el gabinete deshidratador, la temperatura variaba en función a la posición como se muestra en la tabla 19, las charolas fueron divididas en secciones según su posición ascendente (figura 34) siendo las posiciones 1 a 4 la sección inferior, 5 a 6 la sección media y 7 a 10 la sección alta. Las muestras fueron tratadas en las charolas de la sección media específicamente en la posición 5.

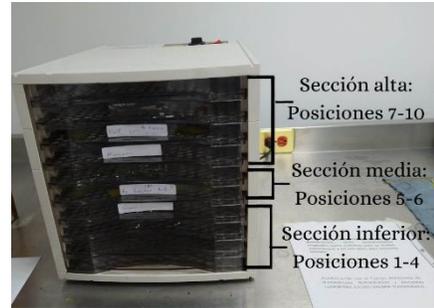


Figura 41.- División por secciones de las charolas de forma ascendente en el gabinete deshidratador.

Tabla 19

Promedio de temperatura según el sitio de estudio en el gabinete deshidratador

Sección	Promedio de temperatura (°C)
Inferior	47.33
Media	38.66
Alta	36.66

11.5.1.4 Determinación de tiempos.

Con base a lo realizado en este proyecto, se encontró que si bien los intervalos de tiempo señalados en la literatura previamente consultada (2-4 horas) eran adecuados, tanto el tipo de corte como las dimensiones y posicionamiento jugaban un factor importante en la reducción de tiempos; Se buscó acortar el tiempo de tratamiento haciendo uso de dichos factores logrando ser reducido a un proceso de 3 horas, tanto para las muestras con conservador (Tabla 20), como para las muestras sin conservador (Tabla 22). Los datos obtenidos se sometieron a una prueba ANOVA utilizando el método de Tukey con un intervalo de confianza del 95% para cada caso (Tabla 21 y 23).

Tabla 20

Datos registrados de la variación de tiempos con respecto al porcentaje de masa seca posterior a la deshidratación de muestras con conservador

Posición de muestra (P.M.)	Tiempo	Peso inicial	Peso final	% masa seca	Promedio de % masa seca
5	02:00	4.67	0.88	18.843	18.631± 0.220
5	02:30	4.58	0.39	8.515	8.431± 0.364
5	03:00	5.16	0.36	6.976	6.570± 0.415

Tabla 21

Comparaciones en parejas de Tukey de los datos de las muestras con conservador

Tiempo	N	Media	Agrupación
2.0	3	18.631	A
2.5	3	8.431	B
3	3	6.570	C

Nota: N: número de muestras. Con las comparaciones en parejas de Tukey las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$), las comparaciones se generaron con el programa Minitab18.

Tabla 22

Datos registrados de la variación de tiempos con respecto al porcentaje de masa seca posterior a la deshidratación de muestras sin conservador

Posición de muestra (P.M.)	Tiempo	Peso inicial	Peso final	% masa seca	Promedio de % masa seca
5	02:00	4.23	0.45	10.03	10.043 0.190
5	02:30	4.67	0.37	7.92	7.533 0.401
5	03:00	4.18	0.27	6.46	6.497 0.267

Tabla 23

Comparaciones en parejas de Tukey de los datos de las muestras sin conservador

Tiempo	N	Media	Agrupación
2.0	3	10.043	A
2.5	3	7.533	B
3	3	6.497	C

Nota: N: número de muestras. Con las comparaciones en parejas de Tukey las medias que no comparten una letra son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$), las comparaciones se generaron con el programa Minitab18.

11.5.1.5 Tamaño de muestra

Una vez realizado el experimento, se consideró que la longitud de las muestras era un factor importante que afectaba de manera proporcional al tiempo del proceso, por lo que se realizaron variaciones de esta (Tabla 24), utilizan un vernier electrónico para registrarlas como se muestra en la tabla 22. obteniéndose una longitud aproximada de 40.7 - 41 nm, un ancho de 11.6 -11.8 nm y un grosor de 2.1 - 2.8 mm.

Tabla 24

Datos registrados de la variación de medidas a diferentes muestras.

N. Muestra	Unidad: mm				Unidad : gr
	Largo	Ancho	Grosor	Volumen	P. charola 1
1	37.5	11.3	2.2	932.25	6.83
2	37.5	11.3	3.3	1398.375	
3	36.9	12.3	2	907.74	
4	36.9	12.3	1.9	862.353	
5	36.3	11.3	1.9	779.361	
6	36.3	11.3	2.3	943.437	
N. Muestra	Unidad: mm				Unidad : gr
	Largo	Ancho	Grosor	Volumen	P. charola 2
1	27.8	6.1	0.5	84.79	0.39
2	28.2	6	0.4	67.68	

3	28.7	7.6	0.4	87.248
4	21.4	7.7	0.4	65.912
5	18.4	7.7	0.3	42.504
6	16.2	6.7	0.6	65.124

11.5.2 Deshidratación

Una vez realizado el experimento, se consideró que el calor no era constante en el gabinete deshidratador, se mostraban temperaturas mayores en la parte inferior de este. Se encontraron resultados de deshidratación óptima en el intervalo de 170 min y 180 min (figura 35), en las charolas de la posición intermedia del gabinete deshidratador, por lo cual el aumento del tiempo de deshidratación favoreció el proceso en la totalidad del gabinete.

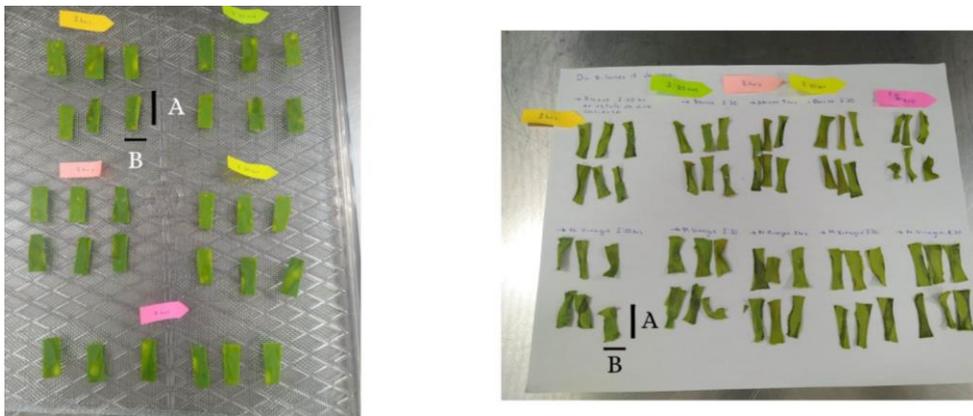


Figura 43.- En la parte izquierda se encuentran las muestras antes del proceso de deshidratación, indicando los intervalos de tiempo a los cuales serán sometidas, en la parte derecha se puede apreciar el resultado de deshidratación que presentaron las muestras separadas por intervalos, a partir de las 3 hrs. Se presenta la deshidratación óptima. Escala de medida representa por las líneas A= 40.7 - 41 mm, B= 11.6 -11.8 mm.

11.5.3 Estudio comparativo de deshidratación con y sin conservadores

11.5.3.1 Muestras con conservadores

Las muestras que se deshidrataron a dos diferentes intervalos de tiempo (Tabla 25) el primer intervalo de una hora con treinta minutos las muestras presentaron un porcentaje de masa seca promedio de entre 24.4% - 37.5%, el cual variaba según el tipo de conservador, debido a la deshidratación parcial del material biológico, se encontró actividad microbiana en la mayoría de las muestras, al cabo de un día, salvo las que empleaban ac. acético como conservador (al 0.5 % y 1.0 %), además de pardeamiento en todas las muestras.

Las muestras sometidas a una deshidratación de cuatro horas presentaron un menor porcentaje de masa seca de entre 7.6 - 10.3 %. En estos casos no se encontró actividad microbiana, pero el pardeamiento continuo presente siendo las muestras adicionadas con sal y ácido acético aquellas que presentaban una menor decoloración.

Tabla 25

Datos registrados con respecto al porcentaje de masa seca en promedio obtenida con base a los experimentos

Muestras con conservador	% promedio de masa 1:30 h.	% promedio de masa 4 h.
MC1	28.07 ± 11.32	7.65 ± 0.685
MC2	32.10 ± 18.34	7.92 ± 0.92
MC3	29.86 ± 9.04	9.20 ± 2.579
MC4	24.47 ± 0.74	7.60 ± 0.073
MC5	37.39 ± 4.72	7.94 ± 1.294
MC6	35.76 ± 9.30	10.28 ± 1.765

11.5.4 Búsqueda de molienda

En el proceso de molienda se emplearon 2.5 gr de materia vegetal deshidratada, de la cual se recuperaron 0.58 gr mediante el uso del mortero en un tiempo estimado de 10-20 minutos, mientras que con molino de nixtamal se recuperaron alrededor de 0.20 gr, gran parte de la materia vegetal no pudo procesarse por este medio, además de que algunas cantidades se perdían debido a la rueda del molino. Se determinó que el proceso de molienda en el que se utilizó el molino de nixtamal no es el adecuado, debido a que presenta una gran pérdida de la muestra, así como el requerimiento de una fuerza considerable para su uso; por otro lado, el proceso de molienda en el que se utilizó el mortero a pesar de que requiere un mayor tiempo de uso, mostros mejores resultados con respecto al rendimiento (figura 36). Siendo más fácil de utilizar para el operador, motivo por el cual se seleccionó la molienda generada a partir del mortero para llevar a cabo dicho proceso.

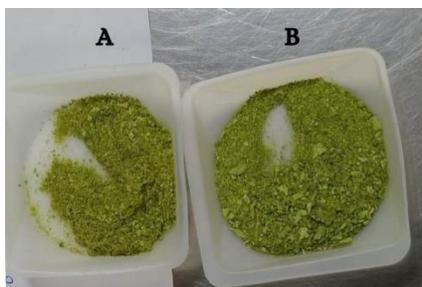


Figura 45.- Muestra A) molienda obtenida mediante el uso del mortero, presenta una textura fina y con aroma herbal. Muestra B) molienda obtenida a través del molino de nixtamal, para generar cantidades similares se emplearon más gramos de materia vegetal deshidratada, las partes más grandes se excluyeron, sin embargo, aun presenta trozos que no se molieron bien.

11.5.5 Evaluación antioxidante

La evaluación comenzó con las muestras que no fueron sometidas a un pretratamiento por calor, siendo estas: Nopal deshidratado (ND) y nopal fresco sin conservador (NF). Para el caso de las muestras ND con respecto a las concentraciones de 10 ppm y 100 ppm no denotaron cambios con respecto al viraje permaneciendo este en un tono morado indicando la presencia de radicales libres, sin embargo, en la concentración de 1000 ppm la coloración cambio ligeramente a un tono amarillo claro. Por su parte las muestras NF solo mostraron un ligero aclaramiento en el tono morado que presentaban en un inicio, no se presentó un cambio de coloración independientemente de la concentración en la que se encontraban. Una vez calcula la actividad de atrapamiento se observó que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración como se puede observar en la tabla 26. A 100 ppm el deshidratado tiene 16 % más actividad antioxidante que el fresco, puede ser que el fresco al tener las moléculas intercaladas de agua en su tejido está interaccionando con puentes de hidrógeno con los hidroxilos que tienen la actividad antioxidante. Respecto a la quercetina, que es un compuesto puro de referencia se observa que a las concentraciones ensayadas no hay diferencia significativa debido a que nos encontramos en la parte más alta de su capacidad antioxidante.

Tabla 26

Datos registrados de la Actividad antioxidante presente en las muestras tratadas por la técnica de DPPH.

Muestra	10 ppm %	100 ppm %	1000 ppm %
ND	6.93 ± 0.632	16.954 ± 0.503	73.918 ± 2.395
NF	2.66 ± 0.795	6.155 ± 1.673	60.929 ± 1.628
Quercetina	86.281 ± 0.090	82.420 ± 0.325	81.742 ± 0.180

11.5.6 Pruebas de tratamiento pre deshidratado.

Las muestras sometidas a un pretratamiento con calor húmedo y seco (cocción) se dividieron en dos casos, las que fueron deshidratadas posterior a este tratamiento y las que no, obteniéndose así las siguientes muestras: nopal asado (NA), nopal hervido (NH), nopal asado deshidratado (NAD), nopal hervido deshidratado (NHD). En el caso de las muestras NAD y NHD se deshidrataron por un intervalo de 240 min. Se mostro una diferencia de un 6% con respecto a las muestras post- deshidratación sientto favorecidas las muestras NH, mientras que las NA mostraron mejores resultados al no ser deshidratadas como se muestra en la tabla 27, sin embargo, tanto las muestras que presentaron un pretratamiento como las que no mostraron un decaimiento con respecto a la actividad antioxidante que presentaban en un rango entre 30- 26 % en comparativa con las muestras ND y NF.

Tabla 27

Datos registrados con respecto a la actividad antioxidante presentada por muestras sometidas a un pretratamiento con calor húmedo y calor seco.

Muestra	Concentración	Actividad Antioxidante
	10 ppm	6.93 ± 0.632
ND	100 ppm	16.954 ± 0.503
	1000 ppm	73.918 ± 2.395
	10 ppm	2.66 ± 0.795
NF	100 ppm	6.155 ± 1.673
	1000 ppm	60.929 ± 1.628
	10 ppm	6.521 ± 0.062
NA	100 ppm	5.994 ± 0.0040
	1000 ppm	40.382 ± 0.0005
	10 ppm	14.822 ± 0.155
NH	100 ppm	9.617 ± 0.002
	1000 ppm	27.602 ± 0.003
	10 ppm	5.797 ± 0.082
NAD	100 ppm	12.582 ± 0.004
	1000 ppm	35.375 ± 0.007
	10 ppm	0.988 ± 0.001
NHD	100 ppm	12.055 ± 0.001
	1000 ppm	44.071 ± 0.007
	10 ppm	86.281 ± 0.090
Q	100 ppm	82.420 ± 0.325
	1000 ppm	81.742 ± 0.180

12 Conclusión

En este trabajo se determinó la actividad antioxidante del nopal originario de Tepoztlán en fresco y deshidratado, empleando la metodología de radical libre DPPH (hidrato de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), bajo las condiciones experimentales realizadas las muestras de nopal fresco presentan una capacidad antioxidante del 60% en una concentración de 1000 ppm que se extrapola a la cantidad de ingesta que normalmente se consume en una ensalada o licuado. En cuanto a las muestras deshidratadas se observó un incremento de la capacidad antioxidante de un 13.91%, encontrando dicho resultado cercano al compuesto puro de referencia utilizado, el cual es uno de los flavonoides más consumido por la población, debido a esto, el nopal deshidratado representa una opción de consumo saludable con un aporte antioxidante adecuado.

Se determinaron los parámetros necesarios para implementar la técnica de deshidratación con aire caliente en las muestras del material vegetal, dichos parámetros contaban de utilizar cortes de láminas con un largo de 40.7 - 41 mm, un ancho de 11.6 - 11.8 mm y un grosor de 2.1 - 2.8 mm, colocadas en la sección media del gabinete que constaba de una temperatura intermedia de 38.6° C, estos parámetros generaron un consumo de menor energía, menor tiempo de deshidratado y mejores características organolépticas, de igual forma se realizaron modificaciones al equipo de deshidratación, el cual fue la implementación de una maya para reducir el espaciado de las charolas, evitando pérdidas de la muestra.

Se realizó el estudio comparativo de deshidratación con y sin conservadores, dichos conservadores fueron los siguientes: benzoato de sodio, ácido cítrico, ácido ascórbico, bicarbonato de sodio, ácido acético y cloruro de sodio, observándose que el uso de algunos conservadores ocasionó modificaciones en las propiedades organolépticas de las muestras posterior a su deshidratación, de entre estos el ácido acético fue el que presentó una menor modificación, aunado a esto al realizar los cambios de periodo de tiempo y temperatura (180 minutos y 63° C) del proceso de deshidratación fue posible evidenciar que ya no se requería la adición de conservador ya que el producto deshidratado permaneció estable sin presencia de microorganismos ni moho al menos hasta 30 días después de su deshidratación.

Se comparó la evaluación antioxidante del nopal fresco y deshidratado, así como sus variaciones con tratamientos de calor seco y húmedo más consumidas, siendo estudiadas las siguientes muestras a) nopal fresco b) nopal deshidratado en estufa de aire caliente en cortes tipo lámina c) nopal asado a una temperatura de 75° C en promedio y d) nopal hervido a una T de 98° C siendo el de mayor actividad el nopal deshidratado teniendo una capacidad de atrapamiento de radical libre 73.91% a 1000ppm, seguido del nopal fresco con 60 % a 1000ppm, el nopal hervido con un 44% a 1000ppm y finalmente el nopal asado de 40% a 1000ppm. Determinándose que los métodos de tratamiento térmico aumentan el porcentaje de actividad antioxidante presente en la muestra, debido a la disminución de moléculas que puedan interactuar con los hidroxilos de dicha actividad.

Se observa una variabilidad acorde con el tipo de tratamiento termino al que se ha sometido la muestra, al ser deshidratada de manera directa se han obtenido resultados de hasta 73.91% de actividad antioxidante, sin embargo, una vez que el nopal es sometido a procesos térmicos adicionales se ve un decaimiento en la actividad antioxidante de hasta un 30 %, ocasionado por la pérdida de compuestos(mucilago) en dicho proceso. Debido que a la disminución de la actividad antioxidante es mayor al ser sometida a tratamientos térmicos como el calor húmedo (hervido) en contraste con calor seco (asado), métodos usuales de consumo por la población, es más recomendable su consumo al someterse a un proceso de calor seco antes de su ingesta o consumirse crudo, en licuados u otros preparados, para obtener un mayor aporte de antioxidantes en la dieta diaria. Aun así, no cambia el hecho que el nopal independientemente de su preparación muestra un buen aporte de antioxidantes para la dieta humana además de ser una alternativa de cultivo para las regiones semiáridas y de escasos recursos del mundo, por lo cual, es presentado como una opción accesible y buena para un consumo saludable.

13 Bibliografía

A, Casp; J. Abril. (2003). “*Procesos de conservación de alimentos*”. Primera parte, bases de conservación de alimentos, pág. 35-55. Madrid. España. Ediciones Mundi-Prensa, segunda edición. Recuperado de: <https://vdocuments.mx/procesos-de-conservacion-de-alimentos-ana-casp-jose-requena.html?page=5>

Andrade L.; Erick B.; Casandra R.; Fernanda R.; Gustavo V.; Carlos C. “*EL METABOLISMO ÁCIDO DE LAS CRASULÁCEAS: DIVERSIDAD, FISIOLOGÍA AMBIENTAL Y PRODUCTIVIDAD*”. (2007). Recuperado de: [file:///C:/Users/mond/Downloads/1764-Article%20Text%20\(DOC%20or%20DOCX\)%20\(Public%20PDF\)%20-9552-1-10-20170822.pdf](file:///C:/Users/mond/Downloads/1764-Article%20Text%20(DOC%20or%20DOCX)%20(Public%20PDF)%20-9552-1-10-20170822.pdf)

Andrés Ahumada, Ricardo Benítez, Andrés Ortega, Diana Chito. “*Saponinas de quinua (Chenopodium quinua Weld.): un subproducto con alto potencial biológico*”. (2016). Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas,45(3): 438. Recuperado de: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>

Andrés F. “*Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas Del campo al mercado*”. Balcarce, Argentina. Cap. 4. (2003). FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s07.htm>

Artaya O; Reynaldo, Inés. “*Flavonoides: Características químicas y aplicaciones*”. Cultivos Tropicales. (2001). vol. 22. núm. 2. pp. 5-14 <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>

Bonilla Rivera, Fernández Rebaza, Bustamante Peñaloza, Casas Martel, Cirineo Rodríguez, Hinostroza Lorenzo, Villar, Meléndez, Yupanqui Gallegos. “*Determinación estructural de flavonoides en el extracto etanólico de cladodios de Opuntia ficus-indica (L.) Mill. Tuna Verde*”. (2017). . Rev. Perú Med Integrativa.2017;2(4):835-40.Recuperado de <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/07/907045/determinacion-estructural-de-flavonoides-en-el-extracto-etanol-XC9gvbb.pdf>

Cano-Flores, Arturo. “*Biotransformación de triterpenos con diferentes microorganismos*”. (2013). Revista mexicana de ciencias farmacéuticas, 44(2), 7-16. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-01952013000200002&lng=es&tlng=es.

Carlos Carvajal. “*ESPECIES REACTIVAS DEL OXÍGENO: FORMACIÓN, FUNCION Y ESTRÉS OXIDATIVO*” (2018). Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v36n1/2215-5287-mlcr-36-01-91.pdf>

Cartaya O.; Reynaldo I. “*Flavonoides: Características químicas y aplicaciones*”. (2001). Cultivos Tropicales, vol. 22, núm. 2, pp. 5-14 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>

Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.5. pág. 1129-1142. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n5/v6n5a18.pdf>

Claudio A., Juan M. y Pedro P. “*Mercado mundial de tuna*”. (1995). UACH. CIESTAAM. Recuperado de: https://www.elquiglobalenergy.com/datos/Mercado_mundial_de_la_tuna.pdf

Consejo Mexicano del nopal y tuna ,A.C. “*Nopales, tunas y xoconostles*”. (2009). Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Pag 3. Recuperado de: <http://bioteca.conabio.gob.mx/janium/Documentos/6579.pdf>

Cristopher I.; Elvis C.; Jorge G. “*Flavonoides y sus acciones antioxidantes*” (abril- marzo, 2009) . UNAM. Recuperado de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2009/un092g.pdf>

Deysi G. y Jorge C., “ *ESTUDIO BROMATOLÓGICO DEL CLADODIO DEL NOPAL (Opuntia ficus-indica) PARA EL CONSUMO HUMANO*”. (2007). Revista Sociedad Química Perú. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n1/a05v73n1.pdf>

Díaz Puentes, LN. “*Interacciones moleculares entre plantas y microorganismos: saponinas como defensas químicas de las plantas y su tolerancia a los microorganismos. Una revisión.*” (2009).RETIRADO. Revista de Estudios Transdisciplinarios, 1 (2),32-55. ISSN: 1856-9161. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179214945004>

Domínguez, V., “*V. Anti-inflammatory, Antioxidant and Cytotoxicity Activities of Methanolic Extract and Prenylated Flavanones Isolated from Leaves of Eysehardtia platycarpa. Natural Product Communications*”. 2013, 8, pág. 177-180. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1934578X1300800211>. (Fecha de consulta junio 17, 2022)

Echavarría, A., D’Armas Regnault, H., Lisbeth, N., Matute, L., Jaramillo, C., Rojas de Astudillo, L., & Benítez, R. “*Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales / Evaluation of antioxidant capacity and secondary metabolites of sixteen medicinal plants extracts*”. (2016). CIENCIA UNEMI, 9(20), 29-35. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp29-35p>

Edgar, I. R.; Hugo, C. M. “*Nopal/tuna, mercado y territorio en México: un enfoque de capacidades*”. Eutopía-21. 2022, 21, Pág. 101-102. <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/eutopia/article/view/5435/4129> (Fecha de consulta junio 16, 2022)

Espinosa P; Vargas A. Biodiversitas. “*Helia Bravo*” (2002). Núm. 40 Recuperado de: http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/biodiver40.pdf

Fermín Mercado. “ *Diversidad y sistemática del género Opuntia s.s., en la región de los cabos, baja california sur, México*”. (2014). CIB. Recuperado de: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/129/1/mercado_f.pdf

Fernández Ladero y Olliver. “*Estudio químico del nopal*”. UNAM. (1593). Recuperado de: <http://132.248.9.195/ppt1997/0168383/0168383.pdf>

Fernández-Pachón, M. Soledad, Villaño, Débora, Troncoso, Ana M., & García-Parrilla, M. Carmen. (2006). “*Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo*”. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200002&lng=es&tlng=es.

Fernández-Pachón, M. Soledad, Villaño, Débora, Troncoso, Ana M., & García-Parrilla, M. Carmen. “*Revisión de los métodos de evaluación de la actividad antioxidante in vitro del vino y valoración de sus efectos in vivo*”.(2006). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 56(2), 110-122. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000200002&lng=es&tlng=es.

González Cañete, Natalia, & Durán Agüero, Samuel. “Isoflavonas de soya y evidencias sobre la protección cardiovascular”. (2014). *Nutrición Hospitalaria*, 29(6), 1271-1282.
<https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7047>

González, G., García, D. “Ejercicio físico y radicales libres, ¿es necesario una suplementación con antioxidantes?” *Rev. Internac Med Ciencias Actividad Física Deporte*. 2012; 12(46): 369-388.

González-Jiménez, F. E., Hernández-Espinosa, N., Cooper-Bribiesca, B. L., Núñez-Bretón, L. C., & Reyes-Reyes, M. (2015). “Empleo de antioxidantes en el tratamiento de diversas enfermedades crónico-degenerativas”. *Vertientes. Revista Especializada En Ciencias De La Salud*, 18(1). Recuperado a partir de <https://revistas.unam.mx/index.php/vertientes/article/view/51730>

Gonzalo S., Francisco L., Xicoténcatl D., Juan Manuel S. Juan Carlos A. “¿Qué conocemos del nopal?”. Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán. (2015), cuaderno número 10. Pág. 5-6 Recuperado de: <https://icti.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/10.-QUE-CONOCEMOS-DEL-NOPAL.pdf>

Guija-Poma E; M Ángel; Ponce-Pardo J; Zarzosa-Norabuena E. “Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante”. *Horiz Med [Internet]*. (2015). Recuperado de: <https://www.horizontemedico.usmp.edu.pe/index.php/horizontemed/article/view/148>

Hernández Figueroa, Tania T, Rodríguez-Rodríguez, Elena, & Sánchez-Muniz, Francisco J. “El té verde ¿una buena elección para la prevención de enfermedades cardiovasculares?”. (2004) *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(4), 380-394. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000400003&lng=es&tlng=es.

Hung B.; Falero M.; Pérez B.; Tirado M.; Balcinde Q.; Pineda R. “Fitoesteroles. Parte 1. Tendencias actuales y aplicaciones biomédicas”. (2005). *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, vol. 36, núm. 1, pp. 23-30. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220583003.pdf>

“Instrucciones de operación. Weston 75-0201-W, 75-0301-W Guía del usuario”. 2015, Pág. 16. <https://manualzz.com/doc/es/52972650/weston-75-0301-w-6-tray-food-and-jerky-dehydrator-use-and...> (Fecha de consulta junio 16, 2022)

Ivana Mylene. “Manual de conservación de alimentos”. (2019). INACAP. Pág. 55-61. Recuperado de: https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/profesor/Gastronomia/Manuales/Manual_Conservacion_de_Alimentos.pdf

J, Colina, León, M, Castañeda, M, & Matos, A. “Composición química e indicadores de calidad del frijol de soya (*Glycine max*) integral procesado con vapor para la alimentación de aves y cerdos”. (2017) *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(1), 49-55. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000100007&lng=es&tlng=es.

Javier. “conservación de alimentos-INTEC”. (2019). conicet.bov.ar. INTEC. Recuperado de: https://intec.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/15/2019/09/depiante_conservacion_de_alimentos_201909.pdf

-
- Jimenes M., Sánchez M., Martínez T. “Optimización del método captación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) para evaluar actividad antioxidante en bebida de café”. (2012). AN. VET. (MURCIA) 28: 67-78. Recuperado de <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/37659/1/Optimizaci%C3%B3n%20del%20m%C3%A9todo%20captaci%C3%B3n%20del%20radical%202%2C2-difenil-1-picrilhidrazilo%20%28DPPH%29%20para%20evaluar....pdf>
- Juan Carlos G. “Efectos biofuncionales del nopal y la tuna”. (2009). UNAM. Horticultura Internacional NR. 17. 18-19. Recuperado de: http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi71/cientifico_rhi71.pdf
- Karen. “Capítulo 3. Conservación de los alimentos”. (2012). Recuperado de: <https://users.exa.unicen.edu.ar/catedras/tecnoambiente/CAP03.pdf>
- Karla Ivenette G. “Efecto hipolipemiante del nopal deshidratado (*Opuntia ficus-indica*) en adultos con sobrepeso u obesidad y riesgo cardiovascular”. (2019). Universidad autónoma de Querétaro, Facultad de ciencias naturales. Recuperado de: <https://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/1872/1/CNMAC-272784-0120-521-Karla%20Ivette%20G%c3%b3mez%20Becerra%20%20-A.pdf>
- Katherine C. Kevin K. “Métodos para conservación de alimentos”. (2012). PURDUE UNIVERSITY. Recuperado de: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fs/fs-15-s-w.pdf>
- Larry E. Johnson. “generalidades sobre las vitaminas”. (2022). University of Arkansas for Medical Sciences. Manual MSD. Recuperado de: <https://www.msdmanuals.com/es-mx/professional/trastornos-nutricionales/deficiencia-dependencia-e-intoxicaci%C3%B3n-vitam%C3%ADnica/biotina-y-%C3%A1cido-pantot%C3%A9nico>
- Lopa J., Valderrama M., León N., Lazo L., Llerena J., Carlos B., Guija P. “Evaluation of the antioxidant capacity and bioactive compounds of banana passionfruit (*Passiflora mollissima*) and black cherry (*Prunus serotina*)”. (2021). Horizonte Médico (Lima), 21(3), e1365. <https://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2021.v21n3.08>
- Loza-Cornejo, S., X. Aparicio-Fernández, R. J. Patakfalvi y G. H. Rosas-Saito. “Caracteres anatómicos y fitoquímicos del tallo y raíz de *Mammillaria uncinata* (Cactaceae)” (2017). Acta Botánica mexicana 120:21-38. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm120.2017.1159>
- Luna, V. J. “PRODUCCIÓN DE INVERNAL DE NOPAL DE VERDURA. INIFAP. CDMX”, 2011, 1, pág. 1. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/879.pdf>. (Fecha de consulta junio 16, 2022)
- Marcia Avello y Mario Suwalsky. “Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección”. (2006). ATENE 494. Recuperado de: <https://www.scielo.cl/pdf/atenea/n494/art10.pdf>
- María Eugenia R; Olivia Yanet R; Oscar Saúl H; Luis Chel G; Miguel Ángel A. “ ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE Y ANTIOXIDANTE DE TRONADORA, RAÍZ DE WEREQUE Y RAÍZ DE NOPAL”. (2016). Alimentos Funcionales de Hoy. Barcelona, España: OmniaScience. 143-180. Recuperado de: <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/download/98/421/856-1?inline=1>

Marta Coronado H., Salvador Vega, Rey Gutiérrez T., Marcela Vázquez F. y Claudia Radilla V. "Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana" Revista Chilena de Nutrición. Vol. 42, Nº2, (2015). Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v42n2/art14.pdf>

MARTIN G. "LOS COMPUESTOS FENÓLICOS: UN ACERCAMIENTO A SU BIOSÍNTESIS, SÍNTESIS Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA". (2017).RIAA. Recuperado de: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1968/2813>

Martínez Cayuela, M. (2010) "Estrés Oxidativo, mecanismos de defensa antioxidante". En Gil, Á.: "Tratado de Nutrición"; Tomo I: "Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición", (Cap.19, pp. 623 -651). Madrid, Médica Panamericana, España. Recuperado de: https://www.academia.edu/37164774/Tratado_de_Nutricion_Tomo1

Matías L. "Valoración del consumo de antioxidantes naturales en futbolistas amateurs entre 18 y 28 años" (2014). UAI. Recuperado de: <https://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC114125.pdf>

Matilde Tenorio D. "Flavonoides extraídos de la cascara de naranja tánguelo (*Citrus reticulata* x *Citrus paradisi*) y su aplicación como antioxidante natural en el aceite vegetal sacha inchi (*Plukenetia volubilis*)". (2016). Universidad Nacional de Trujillo, Scientia Agropecuaria 7 (4): 419 – 431. Recuperado de : <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n4/a07v7n4.pdf>

Nancy Abril. "Exploración de las interacciones fisicoquímicas de los flavonoides-matriz en un producto de lima (*Citrus limetta*) y/o naranja agria (*Citrus aurantium*) y su efecto en las propiedades hipoglucemiantes e hipocolesterolemias en modelo animal". (2015). CIATEJ. Recuperado de: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/379/1/Nancy%20Abril%20Estrada%20Sierra.pdf>

Oswaldo G., Katherine E., Migdalia M., Yamilet G. "Estudio químico y evaluación biológica del extracto etanólico de *Allium schoenoprasum* L. Regel & Tiling (Cebollín)". (2019). 52(1). Recuperado de file:///C:/Users/mond/Downloads/98-1866-2-PB.pdf

Pablo L. S. "AGRUPAMIENTOS PRODUCTIVOS (CLÚSTER) DEL NOPAL".(2002), pág. 9-12. http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal_mexico.PDF.

Paco F. "Flavonoides y actividad antioxidante en la especie *Ilexguayusa* (Loes)" (2017). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13881/1/UPS-QT11519.pdf>

Pita, G., Cabrera, A., Serrano, G., Macías, C., Hernández, M. "Vitaminas antioxidantes en un grupo de adolescentes como factor de riesgo de enfermedades cardiovasculares". Rev. cubana Aliment Nutr 2000; 14 (2): 79-85.

Rafecas M. "Antioxidantes presentes en los alimentos Vitaminas, minerales y suplementos". OFFARM. (2007), 26, pág. 80. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13112893>.

Raúl A., Addí R., Obdulia V., Rosa María D., Nohemí M. & Ramón M. "Romero (*Rosmarinus officinalis* L.): una revisión de sus usos no culinarios".(2011). 15(43), 23-36. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2011/no43/3.pdf>

Reyna L., Dayanira M., María de Lourdes B. y Guadalupe V. “*El nopal: planta del semi desierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal*”. (2015). Revista Mexicana de ciencias agrícolas. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500018&lng=es&tlng=es.

Rodrigo R.D. (2006). “*DECLARATORIA de vigencia de la Norma Mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006*”. GOB.MX. Recuperado de: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1558/seeco1/seeco1.htm>

Rodrigo R.D. (2006). “*NMX-FF-068-SCFI-2006 HORTALIZA FRESCA - NOPAL VERDURA (Opuntia spp.) - ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-068-1988)*”. GOB.MX. Recuperado de: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2007/nmx-ff-068-scfi-2006.pdf>

Rodrigo S.; Giovana E.; Candy R; María de Fátima F.; Rosario R. “*COMPUESTOS FENÓLICOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, CONTENIDO DE RESVERATROL Y COMPONENTES DEL AROMA DE 8 VINOS PERUANOS*”. (2011). 77(2), 135-143. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v77n2/a06v77n2.pdf>

Rogelio P; Eduardo M; Rosa I; Carlos J; Gabriela F; Lidia C. “*Evaluación de la actividad antiinflamatoria, inmunológica y antioxidante de beta-sitosterol en modelos murinos*”. (2022). Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, v.5, n.2, p. 1466-1481. Recuperado de: file:///C:/Users/mond/Downloads/admin,+ART+003_BJAER_ABR.pdf

S. Martínez-Flórez, J. González, J. M. Culebras* y M.^a J. Tuñón. “*Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes* “. (2002). Nutrición hospitalaria. Recuperado de: <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/3338.pdf>

SADER. “*Crece en México el consumo y producción de nopal: Agricultura*”. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/crece-en-mexico-el-consumo-y-produccion-de-nopal-agricultura?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20actualmente%20se%20registra,del%20total%20nacional%2C%20inform%C3%B3%20el.> (Fecha de visita junio 16, 2022).

SADER. “*Un alimento milenario y nutritivo: el nopal*”. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/un-alimento-milenario-y-nutritivo-el-nopal#:~:text=Entre%20sus%20propiedades%20destaca%20su,a%20d%C3%ADa%20trabajan%20nuestros%20%23H%C3%A9rosDeLaAlimentaci%C3%B3n.> (Fecha de consulta junio 16, 2022)

SAGARPA. “*Crece producción de nopal verdura en Morelos*”. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/morelos/articulos/crece-produccion-de-nopal-verdura-en-morelos?idiom=es.> (Fecha de visita junio 16, 2022)

SAGARPA. “*Morelos produce el mejor nopal y lidera la producción en todo el país*”. gob.mx. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cmorelos/articulos/morelos-produce-el-mejor-nopal-y-lidera-la-produccion-en-todo-el-pais.> (Fecha de visita junio 16, 2022).

Sarahí Rodríguez; Martínez Flores; Órnelas-Nuñez; Garnica-Romo. “*OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DEL MUCÍLAGO DE NOPAL (Opuntia ficus-indica)*”. (2011). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Químico Farmacobiología. Recuperado de: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/III/carteles/CIII-71.pdf>

Seung Hwan H, Il-Jun Kang y Soon Sung Lim “*Antidiabetic Effect of Fresh Nopal (Opuntia ficus-indica) in Low-Dose Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Fed a High-Fat Diet*”. (2017). Hindawi. Recuperado de: <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2017/4380721/#conclusion>

“*Taller de alimentación y hábitos saludables “métodos de conservación de alimentos”*”. (2009). PEPSAM-UNNOBA. Recuperado de: https://www.unnoba.edu.ar/wp-content/uploads/2020/05/04_Alimentaci%C3%B3n-saludable-clase-15-M%C3%A9todos-conservaci%C3%B3n-de-alimentos.pdf

Vargas Franklin, Rivas Carlos, Nursamaa Abdoel, Zoltan Tamara. “*Reacciones de radicales libres con relevancia biológica en la teoría del envejecimiento*”. Avances en Química, vol. 2, núm. 2 (2007). pág. 3-15. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/933/93320202.pdf>

Vega, Aracelly, De León, Javier A., Reyes, Stephany M., & Miranda, Stephanie Y. “*Componentes Bioactivos de Diferentes Marcas de Café Comerciales de Panamá. Relación entre Ácidos Clorogénicos y Cafeína*”. (2018) Información tecnológica, 29(4), 43-54. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400043>

Vicente-Vicente, L., Prieto, M., Morales, A. I. “*Eficacia y seguridad de la quercetina como complemento alimenticio*”. Revista de Toxicología, vol. 30, núm. 2. (2013). pág. 171-181. Asociación Española de Toxicología. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/919/91931189008.pdf>

Zamora S., Juan Diego “*Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud*”. Revista Chilena de Nutrición, vol. 34, núm. 1.(2007). Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/469/46934102.pdf>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

DRA. MARÍA LUISA DEL CARMEN GARDUÑO RAMÍREZ
DRA. VALERI DOMÍNGUEZ VILLEGAS
DRA. MARIANA SÁNCHEZ RAMOS
MTRA. MARÍA DEL CARMEN PÉREZ REDONDO
MTRA. MARIBEL OSORIO GARCÍA
P R E S E N T E

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMA T-4A
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 13 de marzo de 2022

Me permito comunicarles que han sido designadas integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de **TESIS**

Titulado:

COMPARACIÓN DE LA APORTACIÓN ANTIOXIDANTE DEL NOPAL *Opuntia ficusindica* EN FRESCO VS DESHIDRATADO CULTIVADO EN TEPOZTLÁN, MORELOS PRINCIPAL PRODUCTOR DEL PAÍS

Que presenta la **C. ANDREA NEVEROS ALANIZ**

Del programa educativo de: **QUÍMICO INDUSTRIAL**

Para obtener el grado académico de: **LICENCIATURA EN QUÍMICO INDUSTRIAL**

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA

Se anexa firma electrónica

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
DIRECTORA DE LA FCQeI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	DRA. MARÍA LUISA DEL CARMEN GARDUÑO RAMÍREZ	
	DRA. VALERI DOMÍNGUEZ VILLEGAS	
	DRA. MARIANA SÁNCHEZ RAMOS	
	MTRA. MARÍA DEL CARMEN PÉREZ REDONDO	
	MTRA. MARIBEL OSORIO GARCÍA	

El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas

VALH/dco

Av. Universidad 1001 Col. Chamilpa, Cuernavaca Morelos, México, 62209,
Tel. (777) 329 7000, Ext. 7039, fcqei@uaem.mx



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2023-03-17 13:09:09 | Firmante

CTec/eCAfYDavrHHlqxE9w8X1pRzltptFXvgRM33LsV9kOYmbjg9okrcEEBiyv0Q6ec9ZwhKC+DwxqDXbYGRRGUjgSwRFKK2O21mJsZJnOXP2+p2j5AWRXHXIvuKK0i8OGN7nKr2L01ofzt/bAlrvkS95iVCzvY/CzsO7qBuCE2Z2f9hiYPSGukDnNk0J27wCDD0c9klmxf3Apqu+Rx275mwIQSv1u//R/5fyHHJb6daspxXCA/J4lsgllrkd+TgwWyyiqQJW1DHKRTIR6qbWPuI9O2v4KdealFHWOqnXkBkn6y9VEX+gjuhftmmrmOapmXpazU++ThHXnMG2qmUZA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[mJIRMWeHQ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/5MyFWMi0H3rtt6HPFMkaJkPgj47YWuAk>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA LUISA DEL CARMEN GARDUÑO RAMIREZ | Fecha:2023-03-28 21:10:12 | Firmante

rI/ttUrLq/RiU4xkd0x/89HYo/jgyUY0ejMOCRo1LaCwZkc5DHjgwGQx2uzFDdtLEPI681vJkVXVor25+zvDGqhmIa5BNqZBnloWBrKr5YoxcVci/PG9kAzXpvrCqj69MDHt38omOdhk Qhj1PYDKlxyVhyLsjuLlhcIvKcanfQdVLPoqD/QaylG/Jsm8nN55j6Pv57q9ODdiaDBdg6B+Xd+ochIrdsmE7Jew/1qV4XzFIOgcW16UryTWdCsHt1nkUT7WLY1A4HXUvjfE1hqWDGH kgLE0Xa6FjncgZiTRJmQeF6rsXdAe1Dha8T9MKSyJ3evq52vPcuOpfPSPmp+Q==

MARIA DEL CARMEN PEREZ REDONDO | Fecha:2023-03-29 14:59:21 | Firmante

hF5AtGoYdfOGHz5Siev765vOkI5SG5j5DA0pACWS8UoYpJ4loxYDUkyzO+Snm5TjWV8q4/j12IS7cc7IR7QXCXCOZkfobYGHpwM8qJeEE6q7itmyaCwfYSiiybYk2aUK0HPdMUZ BIdIxW7QUZwPm5EudtUyYidhAOgX7MaGD0ylqqsFWGvioxoUycQEZKvtEcdinWVmfG8w1JmH9MI/eB2eC6khFTfW2hSHNc019uBJLsWWCjlpjyN06s8oHXo4xNX55fp98QMA WoYoeci7Sp2FLP8t4TEVFBaV0LJs9xUZvoeGkVKH7AYgAzJN1KAbEx3uP/QGkBbmBrqzt5G0Q==

VALERI DOMINGUEZ VILLEGAS | Fecha:2023-03-30 19:55:29 | Firmante

qFLw9w86P47k0mtdH0UJLxvfa1dPUbRMPNdtX/8O0xeYIWMcX7szDcXMoC0rMwasGtFMcj6m4y+eLHU1FbtFh5rGjKuwLDPU74pgRDYMQ/O1QB3+Ghiw43rotHz0nugCj3Y+P8 fq/UcmWn306Xv400MId8bCFOOuRVd41QllqtYfVlinjWq0MNxoO8L96DEDdatNSSshYl/qx60wq/X72TIFyiQPIMef+xl/T34UpWi3Ljm9jaw8B3FSEvLM01iEWVaAkYQjAjZUDX9kIX k7lykYgyXR742NycKsZ49VJHYn/Le8GDIEt5PECBHply3PXw0MlBjACY5XvEXMolL03A==

MARIANA SANCHEZ RAMOS | Fecha:2023-03-30 20:10:14 | Firmante

HwgXMScouwpzQjMgb2bBlzUfStkcyYe7zq2FXfJ89thkaxNeRQYV99NtsaejS6egou/R/Opd1bY0SGxaottpZUAeYq/C66nkvytac+lvnA6oJTjWwZ4dt0ra/EhcKrVZtWVEa2DkfjL0na GoJjolGk2ss2kCAEtCy9JiHx5WTJcY6JgEOuANd78/flA3tagVeUGK4ObzeDrksN65muHRyV0aoKtNcv6WPqCq9GybAwArr2TRQJ9uoiwF9cVJfLeg7aLzjtsHjmbITZ7TBG/iCZkN 59Y0NVMAofRyv8lc27OZ0kjbnFhGOq8fh3jtXxFivtGpVX001TQKWKjil8N6A==

MARIBEL OSORIO GARCIA | Fecha:2023-04-21 16:50:16 | Firmante

G5s10/eeOn+YKgxUbN6puqedv3bxzEIhKQGuvvde3/1mEP1hZxEw9aSOiOsrZnP9Y/5woEcyarAZpol1pYG5J3UOJTGvYcZpWSCADirLFmW0vCvziVTbTXNLMP3lkdy9dBvk jNV8yU+5pOSjg/q8Fkz/iNLR0+4Z2EyTY75hGIlv345m2rtElu8UptXuftgK9SWMh2xfAiJKEDwcyTEC2WQpfY+4IUmCpVbOZtkxPjsQXT2Fjtwy93SR0MMS6jyyYe/5O2JJAHZQxrbV UUVu0s8g4Jzwxpla1GeMzCnSjy3c3zmdzh9BjGDrwW6bBN3U3aEg3szwyACT8cOfpw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



rNlcqloRF

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/OdvzXSC9L02K1Gctr45ct3w0y9YJfNX2>

