



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Químicas
Licenciatura en Químico Farmacobiólogo



Facultad de Ciencias Químicas BUAP

**ESTUDIO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS
ANTIOXIDANTES DESDE PELÍCULAS COMESTIBLES
DE ALMIDÓN A JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L.)**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO EN
LICENCIATURA EN
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

**PRESENTA
p.Q.F.B. VICTOR HUGO ESCOBAR ISLAS**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. CARLOS ENRIQUE OCHOA VELASCO**

**CO-DIRECTORA DE TESIS
DRA. PAOLA HERNÁNDEZ CARRANZA**

H. PUEBLA DE Z.

JUNIO 2023



OFICIO C.Q./CT 010P/2023

**C. Victor Hugo Escobar Islas
PRESENTE**

Toda vez que se cuenta con la aprobación de la Coordinadora de la Licenciatura en Q.F.B., le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

**"ESTUDIO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DESDE PELÍCULAS
COMESTIBLES DE ALMIDÓN A JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L.)"**

ha sido autorizado, siendo:

**Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, Director de Tesis
Dra. Paola Hernández Carranza, Codirector de Tesis**

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., 6 de marzo de 2023

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena digital: 7Pj"8v&P5"Yv(Mv#Dz[Sq%Tz%Xn,Md+Pt*Ec.Jw-PEMLXy-Td+Uv(LISPT)Qa,Tb(Pl*Mn#Rv*Te-Fd.Df"Wz-Ty)Xg-Qn\$Y%Jr&Pe,Th\$Zt)Hl#Ia(Rh,Db*Kz)Sm-Cj\$Sf'Za(Yz.Zx%SwRr)Li%Tk-Jz,0x#Uw\$W%SwEm,Qx\$Sw%R+G-Ho)Kl%No\$Hx+Bl-Gg/Wb/Au/Uz/Gk(Fd)YxIl.Jo.Sp#Yf(Lu+Mz*Am'LnlVd(Ud.SL,Fh%Ec*Nu)Mm*Rl.Ve%Cw'

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-8
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7380



OFICIO C.Q./CT 0016CR/2023

Dr. Raúl Avila Sosa Sánchez

Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Mtra. Obdulia Vera López

Con toda atención comunico a Ustedes que se les propone como integrantes de la Comisión Revisora del trabajo de Tesis que presenta el pasante de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Victor Hugo Escobar Islas

cuyo título es:

**“ESTUDIO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DESDE PELÍCULAS
COMESTIBLES DE ALMIDÓN A JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L.)”**

Asimismo, les solicitamos que a la brevedad posible emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 17 de marzo de 2023

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez

Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena Digital:

1Zh.Sw/Rd*Mn"Ud(Lg\$Ww&Xq,Yz/Hz)Ce"Em+Pw/Py#Eq"Sc)Uo\$Fh'Vr"Rc.Df*Wk,Im)Ks,Ce&Kt\$Fd.Ip"Xj.Gl\$Fv*Bo*Az-
Mb\$Xz'Ge!g+Vw%Zw)Ab*Jz&Ah\$Uh\$Ir\$Go!Vb\$Dk&Vr%Zp'To!Aq-
Fw(Vq,Er&Gi\$Pw*Qv.Yu!Js"mq.Lh*Jo+Dm)Yn'Vl+Fc,lx%Sb(Zc&Qf.Od-
Wd!Nf+Vj.Ye(Vk&Je#Og\$Dx.Bd*Ak%Yi/Cw(Ys#Oz.Xg%Hx/Ze%Ei!Fg+Og&Vg,

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7390



OFICIO C.Q./CT 028A/2023

Dr. Jorge R. Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de Tesis del alumno de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Victor Hugo Escobar Islas

comunican a Usted la autorización para la publicación del trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco y de la Dra. Paola Hernández Carranza, con el siguiente título:

**“ESTUDIO DE LA IMPREGNACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DESDE PELÍCULAS
COMESTIBLES DE ALMIDÓN A JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L.)”**

Se extiende la presente, para los usos que al interesado convengan el día 30 de mayo de 2023.

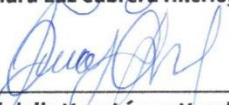
Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 30 de mayo de 2023



Dr. Raúl Avila Sosa Sánchez, Presidente



Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio, Secretario



Mtra. Obdulia Vera López, Vocal

c.c.p. Archivo

Cadena digital:

4Jv.Tp.Qy&Cv&Jj/lw%Jh*Ca*Yr#Pn*Ow'Rd+Gx)Yi&Tl#Cv+Rl%Ca!Jf)Ra[Kw#Cy&Uu{Qu"Ud*De'El*Xw&Le\$Jo%Fe.Nq%El.Dk#
Xo&Gq*La"Rm/Mv,Jw*Kk-Gg!5x*Yi/Yb+Wy)Kv+Pk#Xh-
Hx,Lf'O!Gy!By,Xj,Tv#Yn#Go&Lx,Sp.Mw&Lr&Xo*Hc%Gl&Bv)Ch"lf"Di"Fo/La/Pf,Es\$Vw*Km!Gi,Vv,Oj'Nk-
Uk)Yv\$Yx"Ca/Pu.Gs!Vo*Yl.Wg.Ma.Dd,Xx(lc)

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 55 00 Ext. 7390

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ochoa por apoyarme en la última parte de la licenciatura, por permitirme trabajar en este proyecto y en el laboratorio, por todo el conocimiento que me ha transmitido y las horas que dedico a mí; y por las gratas experiencias que vivimos durante este tiempo, que han llevado a que lo considere un amigo.

A la Dra. Paola por todas las enseñanzas que me dio desde el primer día que entre al laboratorio, por las palabras reconfortantes durante momentos de desesperación y las palabras duras necesarias para que me concentraré en el trabajo; y de igual forma, por los momentos de acercamiento que conllevaron a que la considere una amiga.

A la razón de mi vida y por la que soy el hombre me he convertido, mi mamá. Todos mis logros son por y para ti. Gracias por darme la vida y por ser la mejor mamá del mundo, por ser siempre mi sabia consejera y mi lugar de consuelo, por darme un hogar lleno de amor y felicidad. Eres mi amor eterno y seguiré dando lo mejor de mi para darte más satisfacciones porque has dedicado tu vida para que sea un hombre preparado y capaz. Te amo con todo mi corazón, Bellita.

Al amor de mi vida, Monse. Gracias, mi amor, por ser mi faro que ilumina mi sendero, por ser mi fuerza para seguir adelante y nunca rendirme. Comenzamos este viaje juntos y juntos lo hemos concluido. Nada hubiera sido posible si no te hubiera tenido a mi lado. Eres mi compañera perfecta y mi mejor amiga; y nuestro mutuo apoyo y amor nos llevó a este momento. No tengo duda alguna que quiero compartir más logros y éxitos a tu lado toda la vida. Te amo con todo mi ser.

A mi familia Islas: mis abuelitos, mis tías, mis tíos, mis primas y mis primos. Por apoyarme y respaldarme en todo momento, por darme siempre alegría a mi alma y llenar de amor mi ser. Los amo a todos.

A mis compañeros que conocí durante la carrera, su amistad es un enorme regalo que me llevo de este viaje y en mi corazón llevo todos los recuerdos que pasamos juntos.

A mis sinodales por su tiempo en la revisión de este trabajo y sus observaciones para la mejora de este.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
1. RESUMEN	5
2. INTRODUCCIÓN	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 ENVASES ALIMENTICIOS.....	7
3.2 PELÍCULAS COMESTIBLES.....	8
3.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	11
3.4 ANTIOXIDANTES.....	12
3.4.1 ÁCIDO ASCÓRBICO.....	14
3.4.2 ÁCIDO GÁLICO.....	15
3.4.3 CATEQUINA.....	16
3.4.4 QUERCETINA.....	17
3.5 TRANSFERENCIA DE COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	17
3.6 JÍCAMA.....	19
4. JUSTIFICACIÓN	21
5. OBJETIVOS	22
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
6. PLAN DE TRABAJO	23
7. MATERIALES Y MÉTODOS	24
8. METODOLOGÍA	26

8.1 JÍCAMA.....	26
8.1.1 ANÁLISIS A JÍCAMA.....	26
8.2 PELÍCULAS COMESTIBLES.....	27
8.2.1 FORMULACIÓN.....	27
8.2.2 CARACTERIZACIÓN.....	28
8.3 IMPREGNACIÓN.....	38
8.3.1 RECUBRIMIENTO DE JÍCAMA CON PELÍCULAS COMESTIBLES.....	28
8.3.2 CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN.....	29
9. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	30
9.1 EVALUACIÓN DE LA JÍCAMA Y LAS PELÍCULAS COMESTIBLES.....	30
9.2 CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN DE JÍCAMA CON PELÍCULAS COMESTIBLES.....	32
9.2.1 PELÍCULA COMESTIBLE CON ÁCIDO GÁLICO.....	32
9.2.2 PELÍCULA COMESTIBLE CON QUERCETINA.....	34
9.2.3 PELÍCULA COMESTIBLE CON CATEQUINA.....	36
9.2.4 PELÍCULA COMESTIBLE CON ÁCIDO ASCÓRBICO.....	39
9.3 MODELADO DE LAS CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN.....	41
9.4 HUMEDAD.....	42
10. CONCLUSIONES.....	44
11. RECOMENDACIONES.....	44
12. REFERENCIAS.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinaciones y técnicas empleadas.....	24
Tabla 2. Equipos utilizados.....	25
Tabla 3. Determinación de características antioxidantes en jícama y películas comestibles.....	31
Tabla 4. Coeficientes del modelo de Azuara para la cinética de impregnación de compuestos y capacidad antioxidante de películas comestibles a jícama.....	42
Tabla 5. Determinación de humedad de las películas comestibles con compuestos antioxidantes.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía de los antioxidantes.....	13
Figura 2. Estructura química del ácido ascórbico.....	14
Figura 3. Estructura química del ácido gálico.....	15
Figura 4. Estructura química de la catequina.....	16
Figura 5. Estructura química de la quercetina.....	17
Figura 6. Diagrama de trabajo de la impregnación de compuestos antioxidantes a jícama.	23
Figura 7. Cinéticas de impregnación de compuestos fenólicos (A), capacidad antioxidante DPPH (B) y capacidad antioxidante FRAP (C) desde la película comestible con ácido gálico a jícama.....	33
Figura 8. Cinéticas de impregnación de compuestos fenólicos (A), flavonoides totales (B), capacidad antioxidante DPPH (C) y capacidad antioxidante FRAP (D) de la película comestible con quercetina.....	36
Figura 9. Cinéticas de impregnación de la película comestible con catequina de compuestos fenólicos (A), flavonoides totales (B), capacidad antioxidante DPPH (C) y capacidad antioxidante FRAP (D).	38
Figura 10. Cinéticas de impregnación de la película comestible con ácido ascórbico de vitamina C (A), capacidad antioxidante DPPH (B) y capacidad antioxidante FRAP (B).....	40

1. RESUMEN

Uno de los compuestos bioactivos de mayor interés que se obtienen de la alimentación diaria son los antioxidantes, ya que son indispensables para controlar la oxidación natural del organismo al actuar frente a las especies reactivas de oxígeno. La jícama es un producto vegetal ampliamente consumido en México por su bajo costo y sencillez de consumo. Es una raíz tuberculosa de textura crujiente, fresca y de sabor almidonado. A pesar de su contenido nutricional que abarca carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales; este alimento no provee al organismo de un contenido de compuestos antioxidantes destacado. En este trabajo se formularon películas comestibles de almidón adicionadas con diferentes compuestos antioxidantes (ácido ascórbico, ácido gálico, catequina y quercetina) para ser usadas como empaques comestibles y ser capaces de impregnar compuestos bioactivos a la jícama y mejorar su contenido antioxidante. Las películas comestibles fueron analizadas para determinar que tenían las características requeridas para realizar la transferencia de antioxidantes y, por otra parte, la jícama se analizó para determinar su contenido antioxidante. El estudio de transferencia de compuestos antioxidantes desde películas comestibles a jícama se realizó mediante cinéticas de impregnación evaluadas mediante el modelo de Azuara que dio como resultados que hubo transferencia de compuestos antioxidantes con cada película comestible elaborada al incrementar las concentraciones de compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C y capacidad antioxidante del alimento. Las 4 películas no mostraron diferencias significativas entre ellas con respecto a la ganancia total de antioxidantes en la jícama, no obstante, la película de ácido gálico mostró ser la mejor en su capacidad y velocidad para transferir dichos compuestos. Se pudo concluir que las 4 películas comestibles formuladas son capaces de transferir los compuestos antioxidantes añadidos en su formulación, incrementado la capacidad antioxidante del alimento.

2. INTRODUCCIÓN

Derivado del uso masivo de empaques de origen sintético para la distribución y comercialización de alimentos, actualmente en el área alimentaria se busca el desarrollo de empaques de origen natural, que sean biodegradables y no tengan efectos nocivos en el medio ambiente e incluso provean al alimento de nutrientes básicos que pueden no ser inherentes del alimento o se encuentran en concentraciones bajas en éste pero que, debido a su adición o incremento, potencian el efecto positivo de éste en el funcionamiento del organismo humano al ser consumido.

Uno de estos tipos de empaque son las películas o recubrimientos comestibles. Esto se hace con la creación de un polímero natural, seguro para el consumo humano, que cubre al alimento y por medio de una transferencia de compuestos se podría mejorar su calidad, ya que le conferiría propiedades para la salud humana. Esto da hincapié a que se pueda producir un alimento a partir de un producto altamente consumido, cuyas características nutricionales puedan ser mejoradas con la ayuda de la impregnación a través de una película comestible y así transferirle compuestos antioxidantes que ayudan a la eliminación de radicales libres, que son especies altamente nocivas para las células.

La jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) es una planta endémica de México, comestible por sus raíces tuberculosas; es celebre en el país por su consumo diario debido a su bajo costo, su practicidad para ser preparada y su versatilidad de ser combinada con aditamentos (como chile en polvo, jugo de limón, aceite o vinagre) y en preparaciones (ensalada con frutas frescas o salteados). Contiene una gran cantidad de agua y almidón; la porción comestible es ligeramente dulce, de consistencia crujiente y de color blanco. Este vegetal provee de diferentes nutrientes, pero no es el más destacado de los alimentos en su categoría y, sobre todo, en su contenido de compuestos antioxidantes por lo que es un candidato idóneo para su mejora nutricional por medio de una transferencia de compuestos bioactivos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ENVASES ALIMENTICIOS

Los empaques para alimentos tienen como objetivos principales contener y proteger al producto, además de resaltar al alimento para tener una presentación que sea del agrado del consumidor. Un envase alimenticio ideal es aquel que cumple eficazmente necesidades tanto económicas (costo accesible para su fabricación) como sociales (cumplimiento con las regulaciones y normativas de las instituciones supervisoras de la industria alimentaria) y ambientales (uso de materiales que no contaminan y no ponen en riesgo los recursos naturales) (Navia et al., 2014).

De acuerdo con Solano-Doblado et al. (2018), los envases para alimentos han sido mejorados en favor de los propios cambios de la sociedad moderna, debiendo cubrir nuevos requisitos y características. En la clasificación de los envases con base en su función, se define a un envase primario como aquel que tiene contacto directo con el alimento o los productos. Los envases primarios suelen ser flexibles y son elaborados de películas hechas de materiales como papel, plástico u hojas de aluminio.

La creciente emergencia ambiental, ha causado preocupación entre los consumidores de todo el mundo, con respecto al empaquetamiento tradicional de los alimentos que, en su mayoría, son productos plásticos (polietileno, policloruro de vinilo, etc.) y, a pesar de su capacidad de facilitar el consumo, crean un daño al medio ambiente. Como consecuencia, además de las estrategias conocidas para reducir el desperdicio de envases alimenticios como la reducción, reciclado y reúso de recursos, la alternativa que impera en la situación actual es el desarrollo de envases amigables para el ambiente, creados a partir de materiales biodegradables y/o de base biológica, que por definición, proceden de fuentes naturales y después de su deshecho son capaces de regresar a la naturaleza en un periodo de tiempo corto gracias a la degradación por parte de microorganismos en su ambiente natural (Hassoun et al., 2020).

En adición a lo anterior, estos mismos envases de origen natural pueden proporcionar beneficios a los alimentos al ser capaces de mejorar su calidad en su composición y/o

conservación, además de poder ser comestibles al constituirse de compuestos orgánicos (Solano-Doblado et al., 2018).

3.2 PELÍCULAS COMESTIBLES

Los empaques comestibles para alimentos pueden ser aplicados directamente al alimento o ser usados como envoltura, proveyendo funciones importantes como evitar la migración de gases sin frenarla completamente, puesto que ciertos alimentos requieren de ciertos niveles de respiración; disminuir la pérdida de nutrientes que constituyen el alimento; y/o dotar compuestos mejoradores de la composición, sabor o conservación del alimento (Nešić et al., 2020).

Una película comestible es una delgada matriz preformada que se utiliza para cubrir a un alimento con fines de protección, mejoramiento o conservación. Poseen propiedades mecánicas, generan un efecto de barrera ante el intercambio de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias que se emplean para la formulación de la película (Quintero et al., 2010).

La diferencia entre una película y un recubrimiento comestible es la forma de elaborarlos y aplicarlos en el alimento. Una película comestible es una capa obtenida por moldeo, cuyo espesor es siempre mayor al de un recubrimiento comestible y que es colocada, después de su elaboración por separado, sobre la superficie del alimento. Un recubrimiento comestible se crea sobre la superficie de un alimento, ya sea por inmersión o por aspersión de la disolución formulada para el recubrimiento (Solano-Doblado et al., 2018).

Una de las técnicas comúnmente utilizadas para la elaboración de las películas comestibles es por “solidificación”, el cual es un método donde las moléculas del disolvente y el polímero junto con el plastificante son disueltas hasta su homogeneización y son vertidas en moldes formando capas finas (Lovera et al., 2012).

Fernández et al. (2015), menciona que una película comestible es un material de envoltura o empaque empleado en la industria alimentaria que puede ser consumido debido a que se elabora con polímeros biodegradables, no tóxicos y que enriquecen

la calidad de los alimentos durante su conservación. Las películas comestibles deben presentar ciertas exigencias funcionales que les permitan controlar o aminorar la alteración de los alimentos que recubrirán, algunas de estas propiedades son:

- Formuladas a partir de materiales o compuestos seguros para la salud humana.
- Tendrán propiedades de barrera como la transferencia por contacto de sustancias y nutrientes que confieran una mejora en la calidad del alimento.
- Deben ser elaboradas a partir de tecnología simple.
- Para su calidad sensorial deberán de ser transparentes e indetectables al ser consumidas.
- Contar con capacidad antimicrobiana que evite el crecimiento de microorganismos para mejorar su vida útil.
- Tienen que proteger a los alimentos de la acción mecánica, física y química a la que son sometidos durante el proceso de transporte, distribución, comercialización y almacenado.
- Preservarán la textura del alimento.
- Protegerán la superficie del alimento recubierto de sufrir daños químicos y biológicos como oxidación.

La mayoría de los materiales utilizados para la producción de envases comestibles son solubles en agua. El uso de solventes orgánicos podría contaminar los alimentos, además de que se incrementa la posibilidad de intoxicación, por lo que no se recomienda su uso. Cabe destacar nuevamente la importancia que los componentes utilizados no deben tener un impacto negativo en la salud humana y por el hecho de ser comestibles y provenir de fuentes renovables, la creación de este tipo de empaques representa una categoría única de materiales a diferencia de los materiales convencionales (Nešić et al., 2020).

Las películas comestibles están formadas esencialmente por tres componentes: el polímero, el disolvente y el plastificante. Los polímeros empleados son de origen natural y pueden ser de naturaleza proteica, lipídica o de polisacáridos. Los plastificantes son moléculas de baja masa molar y volatilidad con naturaleza química compatible con el polímero formador de la película. Éstos son utilizados para mejorar

la flexibilidad y la funcionalidad de las películas. Dentro de los agentes plastificantes más frecuentemente utilizados se encuentra el glicerol.

En cuanto al disolvente, al requerirse de una sustancia compatible con todos los componentes se suele usar agua (Solano-Doblado et al., 2018).

Los polisacáridos son carbohidratos poliméricos con características especiales, como no ser tóxicos, biodegradables y biocompatibles, lo que los hace ideales para su uso en el empaquetamiento de alimentos. El empleo de este tipo de biopolímeros podría reducir por completo el uso de materiales sintéticos, además de simplificar la estructura de empaque.

El almidón es uno de los materiales poliméricos más utilizados para la elaboración de películas comestibles. Sus propiedades como polímero pueden variar dependiendo de la fuente botánica a partir del cual se extraiga el almidón. En general, los almidones contienen 15–20% de amilosa y 80–85% de amilopectina. A las películas comestibles elaboradas con almidón se les debe modificar sus propiedades mecánicas con la ayuda de glicerol. Se le puede conferir plasticidad a una película de almidón gracias a la sinergia generada por la interacción entre agua y glicerol, esto se debe a que estas sustancias al mezclarse disminuyen las atracciones intermoleculares entre las cadenas del biopolímero, lo cual produce la reducción de los puentes de hidrógeno internos y genera regiones de alta movilidad a causa de la incorporación de humedad; por esta razón se aumenta la flexibilidad de las películas y se disminuye la fuerza de tensión (Lovera et al., 2012).

Además de estos componentes, también se usan aditivos que tienen como objetivos mejorar o modificar la funcionalidad del material; y mejorar la calidad, estabilidad y seguridad de los alimentos empaquetados. Dentro de los aditivos más usados se encuentran antimicrobianos, saborizantes, agentes colorantes y antioxidantes (Salgado et al., 2015).

Los compuestos fenólicos son unos de los compuestos biológicos más empleados como aditivo en los empaques alimenticios debido sus características antioxidantes y antimicrobianas, además proporcionan resistencia a la luz UV. Las películas

comestibles han demostrado liberar gradualmente fenoles hacia la superficie de los alimentos que están envolviendo y de esta forma, aumentar su vida de anaquel y mejorar su calidad, no solo como producto sino también como ingrediente funcional (Singh et al., 2022).

3.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS

Los compuestos que se obtienen de la alimentación diaria y que tienen un efecto protector para el cuerpo humano se denominan compuestos bioactivos. Estos, por sus propiedades bioquímicas, mantienen el estado saludable del organismo. Se encuentran en alimentos como vegetales o frutas, al ser metabolitos secundarios producidos por las plantas de donde se originan (Cámara et al., 2020).

La actividad biológica de un compuesto bioactivo se define por 3 aspectos: función (papel que desempeña en el organismo), acción (respuesta biológica que genera ante un estímulo que puede ser positiva o negativa) y asociación (como se relaciona con otros componentes para generar un efecto). Cualquiera que sea su actividad del compuesto bioactivo, tendrá consecuentemente una finalidad fisiológica y podría relacionarse con una determinada situación clínica por su exceso o ausencia (Gómez-Villazana, 2020).

De acuerdo con Cámara et al. (2020), la sistematización y caracterización de la gran cantidad de los compuestos bioactivos es un gran reto para muchos investigadores a nivel mundial, pero se han logrado diferenciar 17 clases de compuestos y dentro de esta clasificación se pueden encontrar grupos de mayor relevancia como los compuestos fenólicos o polifenoles, carotenoides y tocoferoles, terpenos, alcaloides, polisacáridos, fitoesteroles, ácidos grasos poliinsaturados, péptidos y glucosinolatos.

Uno de estos tipos de compuestos que son de suma relevancia para el humano son los polifenoles o también llamados compuestos fenólicos, ya que son los principales compuestos antioxidantes que se consiguen de la dieta; superando 10 veces en su ingesta a otros antioxidantes importantes como las vitaminas C y E o los carotenoides (Quiñones et al., 2012). Los compuestos fenólicos son estructuras químicas que tienen en común la presencia de uno o más anillos fenólicos. La función de cada polifenol

depende del número de anillos fenólicos que tengan, así como de los diferentes grupos radicales que posean. Los principales grupos de los compuestos fenólicos son los flavonoides, alcoholes fenólicos, estilbenos y ácidos fenólicos (Quiñones et al., 2012).

3.4 ANTIOXIDANTES

En el transcurso de los procesos metabólicos cotidianos del organismo, el oxígeno es el elemento químico que tiene una presencia protagonista a lo largo de dichos procesos, éste va siguiendo su curso bioquímico que lo llevará a transformarse en agua al actuar como receptor de electrones y convertirse en esta molécula estable. No obstante, la aceptación de estos electrones puede ser incompleta y el oxígeno estará parcialmente reducido, produciendo entidades químicas inestables (como radicales hidroxilo y superóxidos) capaces de genera daño a las células como peroxidación de lípidos, desnaturalización de proteínas, despolimerización de polisacáridos, alteración del ADN, ruptura de la membrana celular, inactivación de enzimas, interferencia con la respuesta inmune y causar carcinogénesis; estas estructuras químicas se conocen como radicales libres (RL) o también llamadas especies reactivas de oxígeno (ROS) (Martínez, 2005).

Nuestro sistema biológico es de tipo aerobio, por definición, necesita de la presencia de oxígeno para su funcionamiento, por ende, está sujeto a tener la presencia de radicales libres de manera natural y por ello, ha generado mecanismos de defensa para contrarrestar la acción de estos compuestos. A nivel fisiológico, es en las microvasculaturas donde se lleva a cabo la regulación de los niveles de oxígeno en tejidos y se realiza, a nivel bioquímico, con la ayuda de una defensa antioxidante que puede ser de tipo enzimática y no enzimática (Santos-Sánchez et al., 2019).

El sistema antioxidante de tipo enzimático o endógeno es la primera línea de defensa que se utiliza para regular el denominado proceso de óxido-reducción (donde se generan las especies reactivas de oxígeno) y que utiliza enzimas como la superóxido dismutasa (transforma el radical superóxido a una especie menos reactiva), la catalasa (escinde el peróxido de hidrogeno para convertirlo en agua y oxígeno) y la glutatión peroxidasa (oxida al glutatión que es un protector de los radicales libres). La acción de estas enzimas tendrá como finalidad convertir a las especies reactivas de oxígeno

en moléculas que no infrinjan daño celular y puedan ser eliminadas del organismo. No obstante, este sistema primario puede estar sobresaturado, por condiciones normales o patológicas, y requerirá del sistema no enzimático (González et al., 2002).

La característica principal de un compuesto o sistema antioxidante es prevenir o detectar la cadena de propagación oxidativa, al estabilizar los radicales generados, para ayudar a reducir el daño oxidativo en el cuerpo humano. Cuando el organismo es expuesto a una alta concentración de especies reactivas de oxígeno, el sistema antioxidante enzimático está comprometido y, consecuentemente, falla en su función de asegurar la completa protección del organismo. Para compensar este déficit de antioxidantes endógenos, el cuerpo usa antioxidantes exógenos suministrados a través de los alimentos, suplementos alimenticios o fármacos. El sistema no enzimático consiste en un grupo de compuestos antioxidantes que atrapan especies reactivas de oxígeno para ser neutralizadas al donarles electrones, y durante este proceso, los antioxidantes se convierten en radicales libres, pero son menos reactivos que los radicales iniciales (Santos-Sánchez et al., 2019).

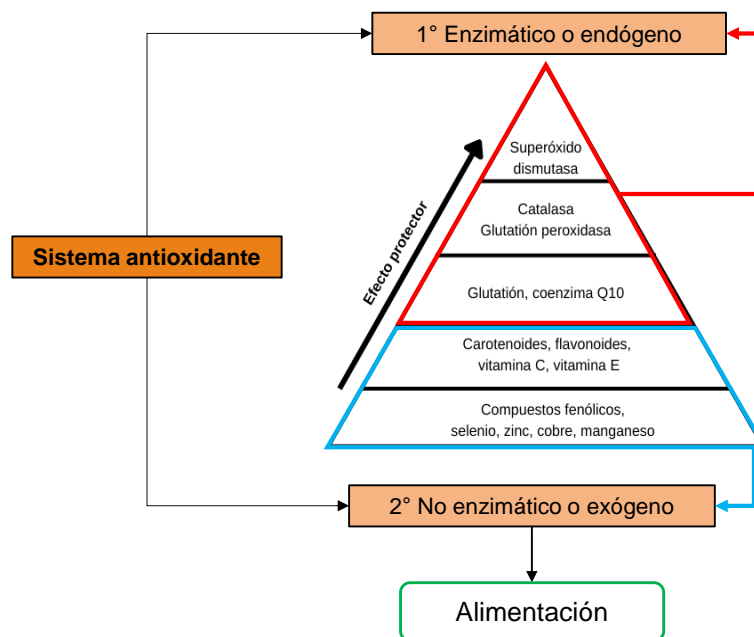


Figura 1. Jerarquía de los antioxidantes (tomado y adaptado de Mariaca et al., 2016)

Los compuestos antioxidantes exógenos de mayor importancia para el sistema no enzimático son: la vitamina E, vitamina C, carotenos, ceruloplasmina, ferritina, selenio, manganeso, ubiquinona, zinc, coenzima Q, taurina, cisteína y compuestos fenólicos como los flavonoides. Los flavonoides de ciertos alimentos interactúan directamente con las especies reactivas, mientras que, de otros alimentos proveen flavonoides que actúan como co-sustrato en la acción catalítica de algunas enzimas del sistema antioxidante de tipo enzimático (Santos-Sánchez et al., 2019).

Los compuestos fenólicos son potentes antioxidantes con la capacidad de eliminar los radicales superóxido y radicales lipídicos, esto lo realizan al transferir un átomo de hidrogeno de su grupo hidroxilo a las especies reactivas de oxígeno; además, son capaces de estimular la producción de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa. La acción de los compuestos fenólicos está asociada con una disminución en el riesgo de enfermedades neurodegenerativas y enfermedades cardiovasculares, además de tener una actividad anti alergénica y de vasodilatación (Mariaca et al., 2016).

3.4.1 ÁCIDO ASCÓRBICO

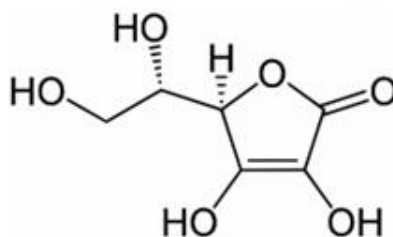


Figura 2. Estructura química del ácido ascórbico (tomado y adaptado de Gęgotek y Skrzydlewska, 2022)

El ácido ascórbico (Figura 1), mejor conocido como vitamina C, es una biomolécula sintetizada por las plantas a partir de la glucosa que participa en varios procesos bioquímicos del organismo humano. Es uno de los principales nutrientes que se obtienen de la alimentación y es el antioxidante exógeno de mayor consumo humano que actúa en diferentes tejidos del cuerpo (Akbari et al., 2016).

Este compuesto bioactivo se involucra tanto en la activación de enzimas antioxidantes, la reparación del daño oxidativo y la neutralización de radicales libres, donde su

mecanismo se basa en su naturaleza como agente donador de electrones para así reducir a las especies reactivas de oxígeno, eliminar el oxígeno molecular y proteger a las membranas celulares de su peroxidación (Geçotek y Skrzydlewska, 2022).

Su acción antioxidante contribuye en el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas como en la diabetes donde modula el estrés oxidativo de las células beta del páncreas (Akbari et al., 2016).

3.4.2 ÁCIDO GÁLICO

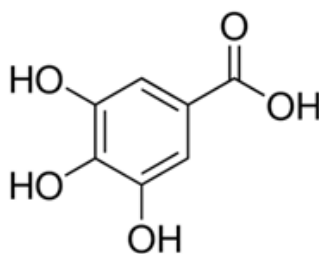


Figura 3. Estructura química del ácido gálico (tomado de Pacheco et al., 2018)

El ácido gálico (Figura 2) es un compuesto fenólico, específicamente un ácido fenólico de los metabolitos vegetales producido por la mayoría de las plantas. Se encuentra en alimentos como nuez, uva, cereza, granada, miel, té verde, vino, entre otros (Marino et al., 2014).

Tiene múltiples aplicaciones en la industria textil, cosmética, farmacéutica y alimentaria; al ser utilizado como aditivo alimentario actúa previniendo el deterioro y enranciamiento de aceites y grasas en diferentes alimentos por su naturaleza antioxidante. Por esta misma razón, su uso en la salud humana es destacable ya que, por ejemplo, se utiliza en productos para el cuidado de la piel y para tratamientos en afecciones de este mismo órgano, pero a un más importante, es un suplemento alimenticio que actúa como fuerte antioxidante ante el daño oxidativo del organismo (Gao et al., 2019).

Entre sus beneficios en la salud humana están antialérgico, antiinflamatorio, antiviral, antifúngico, antimicrobiano, antimutagénico, anticarcinogénico, cardioprotector y neuroprotector (Marino et al., 2014).

Su función antioxidante se da mediante la modulación de la actividad de enzimas como la superóxido dismutasa, la glutatión peroxidasa y la catalasa, por lo tanto, ayuda a disminuir las concentraciones de las especies reactivas de oxígeno. Estos efectos

antioxidantes del ácido gálico se localizan principalmente en el sistema cardio vascular y en el sistema nervioso central, donde incluso, podrían ser una solución para desordenes neurodegenerativos como la enfermedad Parkinson y la enfermedad de Alzheimer; incluso tiene propiedades anticancerígenas como inducir la apoptosis de las células cancerígenas (Gao et al., 2019).

3.4.3 CATEQUINA

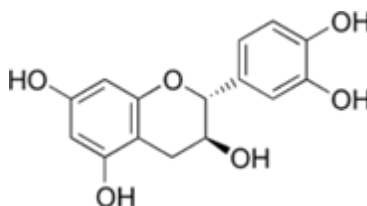


Figura 4. Estructura química de la catequina (tomado de Muñoz et al., 2007)

Es un compuesto fenólico del tipo flavanol del grupo de los flavonoides (Figura 3), se encuentra en altas concentraciones en diversas frutas y vegetales como uvas, habas, fresas, té verde, arándanos, entre otros (Zanwar et al., 2014).

Su consumo ayuda a disminuir la presión arterial, reduce el riesgo de infarto y enfermedad coronaria, incluso alivia condiciones asociadas con disfunción vascular, oxidación de lipoproteínas y agregación plaquetaria. Tiene un efecto protector en las neuronas contra el estrés oxidativo resultando en la inhibición de trastornos neurodegenerativos (Bernatoniene y Kopustinskiene, 2018).

Tiene otras acciones farmacológicas tales como anticarcinogénico, antitumorígeno, antimutagénico, antiproliferativo, antiinflamatorio, antidiabético y antioxidante (Zanwar et al., 2014).

Es un antioxidante que tiene acción directa e indirecta en el organismo; su mecanismo directo consiste en la neutralización de los radicales libres, como los lipoperóxidos, al donar un electrón de su grupo fenólico y mantenerse estable gracias a la resonancia de su grupo aromático, además es capaz de quelar metales iónicos que están involucrados en la generación de los radicales libres como el hierro. Mientras que sus mecanismos indirectos constan de la inducción de enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y catalasa) al regular la síntesis de proteínas y sus cascadas de señalización, inhibe enzimas prooxidantes (NADPH-oxidasa,

lipoxigenasa, xantina oxidasa) y suprime la cascada de señalización de inflamación que causan estrés oxidativo (Bernatoniene y Kopustinskiene, 2018).

3.4.4 QUERCETINA

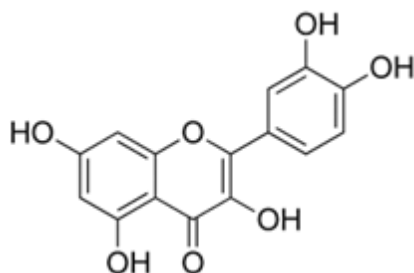


Figura 5. Estructura química de la quercetina (tomado de Muñoz et al., 2007)

Es un compuesto fenólico de los flavonoides (Figura 4) que se encuentra en una gran cantidad alimentos de origen vegetal como manzana, cebolla, cereza, brócoli, uvas y moras. La acción de este compuesto bioactivo en el organismo se ha relacionado con la prevención de afecciones clínicas como la osteoporosis, cáncer, enfermedades cardiovasculares y pulmonares; su actividad antiinflamatoria también es notable (Qi et al., 2022).

De igual forma, se destacan sus propiedades antioxidantes, actuando en diferentes formas para contrarrestar el estrés oxidativo y las especies reactivas de oxígeno. Tiene un efecto directo en la inducción de la síntesis de glutatión, el cual es un péptido antioxidante producido en el organismo que actúa como agente reductor. De igual forma regula diferentes cascadas de señalización activadas por la presencia de las especies reactivas de oxígeno y, de esta forma, reduce el daño celular; además activa otras señalizaciones que proveen al organismo de efectos antiinflamatorio y anti apoptóticos. De igual forma, la quercetina actúa particularmente en el sistema nervioso al mejorar la expresión de enzimas antioxidantes e inhibir la acción de enzimas prooxidantes como la acetilcolinesterasa y la butilcolinesterasa para así mejorar la actividad colinérgica que previene la aparición de trastornos neurodegenerativos (Xu et al., 2019).

3.5 TRANSFERENCIA DE COMPUESTOS BIOACTIVOS

Las películas comestibles son útiles para la incorporación de compuestos bioactivos de modo que la composición y estructura de los alimentos no sea afectada y, por el

contrario, les resulte benéfico esta adición para su calidad sensorial y nutricional. Dentro de los compuestos bioactivos que se pueden agregar están los que mantienen o mejoran la textura, los antimicrobianos, antioxidantes o nutrientes beneficiosos para la salud humana (De Ancos et al., 2015).

La impregnación, en ingeniería de alimentos, es una técnica de transferencia mediante la cual se busca que una fase previamente diseñada y formulada, que contiene uno o más compuestos bioactivos de interés, sea capaz de traspasarlos, por medio del contacto directo, a otra fase a la que se le requiere adicionar estos compuestos y desarrollar un producto con características funcionales, para después ser evaluado y verificar si a este se le han impregnado los compuestos mediante cinéticas de impregnación.

Este proceso de transferencia de componentes de empaque hacia el alimento también es definido por Navia et al. (2014) como “migración”. Se describe como un proceso de difusión que está sujeto a las interacciones que existen entre el alimento y el empaque.

López et al. (2012), mencionan que al ingerir compuestos antioxidantes contenidos en el envase comestible, estos pueden ejercer una acción protectora frente a los efectos perjudiciales producidos por los radicales libres en el organismo del consumidor o retrasar el progreso de muchas enfermedades crónicas. Los antioxidantes incorporados a películas comestibles son numerosos como el ácido ascórbico, ácido cítrico, glutatión, cisteína, entre otros. Para la elaboración de películas comestibles, la tendencia es elegir antioxidantes seguros para su consumo y procedentes de fuentes naturales, puesto que muchos consumidores demandan productos más frescos, poco o nada procesados y más saludables, pero con una menor cantidad de aditivos sintéticos.

En ese sentido, Arteaga-Murguía et al. (2021), describe que las dietas que incluyen una variedad de alimentos con componentes alimentarios como los compuestos antioxidantes tienen un efecto benéfico sobre los marcadores de enfermedad al intervenir en la regulación del peso corporal. Los compuestos fenólicos, que son antioxidantes naturales, han demostrado modular las vías fisiológicas y moleculares que están involucradas en el metabolismo energético, la adiposidad y la obesidad. Y,

por el contrario, la susceptibilidad al daño oxidativo es aún mayor en personas que tienen una disminución de las fuentes de antioxidantes de su alimentación diaria.

3.6 JÍCAMA

La jícama (*Pachyrhizus erosus* L.) es una planta endémica México y distribuida a lo largo de América central y sur. La jícama pertenece al género *Pachyrhizus* que está localizado taxonómicamente en la subtribu Dicotiledónea, en tribu *Phaseoleae* y dentro de la familia leguminosas. La parte importante y comestible de la jícama es la raíz tuberosa que se compone de una pulpa carnosa, de textura crujiente, consistencia firme, de color blanca, porosa, húmeda y sabor almidonado (Burciaga, 2001).

La raíz tuberosa está formada por uno (propio variedades mejoradas) o por varios pseudo tubérculos (en variedades silvestres), los cuales varían considerablemente de forma y tamaño, ya que existen ovaladas, periformes y achatadas globosas, generalmente su superficie es áspera y de color café claro. Las raíces pueden llegar a alcanzar hasta 30 cm o más de diámetro a los 150 días post siembra; estas características se dan con base a la variedad, época, método y densidad de siembra (Ramos-de-la-Peña et al., 2012).

El valor económico de la jícama se debe a la utilización del tubérculo como alimento a causa de su valioso contenido nutrimental; además de ser un tipo de cultivo de bajo costo y buena rentabilidad, convirtiéndolo en un producto de importancia socioeconómica para los agricultores de escasos recursos del país. El nombre de la jícama proviene del nahuatl "Xicamatl" que significa "raíz acuosa de ombligo". En inglés se conoce como "Yam bean". En México, la producción de jícama está concentrado en los estados de Nayarit, Morelos y Guanajuato, de donde es obtenida el 80% de la producción nacional; además de ser una planta común en Puebla, Michoacán, Morelos, Veracruz, Jalisco, Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Yucatán (Burciaga, 2001).

Las raíces tuberculosas son principalmente consumidas como vegetales crudos condimentados con limón y chile, en ensaladas, en sopas, en salteados o picadas cubiertas de vinagre con cebolla y chile. Se han creado bebidas de las raíces

tuberculosas de la jícama a través de presión mecánica y ultrafiltración (Ramos-de-la-Peña et al., 2012).

La jícama tiene alta concentración de dos polisacáridos, el oligofruetosacárido inulina, que provee alta fibra dietética, y almidón. La materia seca de las raíces, que es el 89% del total de materia, consiste en un 83% de almidón, el cual está en un rango de diámetros granulares de 5 a 35 mm (Stevenson et al., 2007).

La determinación de la composición química de la jícama, hablando de su porción comestible, ya ha sido investigada desde hace varias décadas. De acuerdo con lo reportado por Noman et al. 2007, aproximadamente el 80% de su composición es agua lo que indica que, comparado con la papa o el camote, este es un tubérculo con una alta concentración de humedad. Con respecto a su contenido de proteínas y lípidos, estos se encuentran entre el 1% y 0.1%, respectivamente. La concentración de carbohidratos está cercana al 15% pero es baja considerando que la del camote es del doble. Con respecto al contenido de vitaminas, el ácido ascórbico es la que se encuentra en mayor cantidad, con un valor de 14 mg/100g, pero es considerablemente menor que el del camote que es de 29 mg/100g; y con respecto a otras vitaminas como la tiamina, riboflavina o niacina su contenido se encuentra de manera general en 0.2 mg/100g, a comparación de la papa o el camote que están por arriba de 0.3 mg/100g. En cuanto a su composición de minerales, el principal es el potasio (172 mg/100g); los otros principales son: el sodio (35 mg/100g), fósforo (18 mg/100g), calcio (16 mg/100g) y magnesio (13 mg/100g); y con respecto al contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales es de 12.14 y 28.84 $\mu\text{M/g}$, respectivamente.

La composición antioxidante de la jícama también ya ha sido estudiada en sus semillas, hojas y raíces tuberculosas encontrándose en estas compuestos del tipo isoflavonoides, pero solo trazas de genistina y una isoforma de la daidzeína; y la daidzeína fue la única cuantificable con 32 mg/100g en las semillas y hojas también se encontraron compuestos antioxidantes con actividad anticancerígena y antifúngica, pero ninguno está presente en las raíces. De extractos de las raíces se han analizado potenciales propiedades farmacológicas como antidiabetes, inmunomodulador y principalmente, para cosméticos antienvjecimiento (Jaiswal et al., 2022).

4. JUSTIFICACIÓN

Para la elaboración de envases alimenticios de origen natural, un grupo de los compuestos bioactivos que se les busca añadir, prioritariamente, son los antioxidantes. Este tipo de compuestos actúan como reguladores dentro del proceso de óxido-reducción del organismo al encargarse de disminuir las concentraciones de las especies reactivas de oxígeno que son entidades químicas que se mitigan para evitar daño celular a nivel estructural y funcional. Los antioxidantes exógenos se obtienen de la alimentación y es ahí donde radica la importancia de ser adicionados en alimentos que tengan un bajo contenido. Al ser añadidos compuestos antioxidantes, por medio de la impregnación desde películas comestibles, a alimentos con bajo contenido de antioxidantes, pero de gran consumo y bajo costo, como la jícama, se busca que la ingesta de este tipo de compuestos mejore y promueva la salud de la población debido a su consumo.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la impregnación de compuestos antioxidantes desde una película comestible de almidón a jícama (*Pachyrhizus erosus* L.).

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formular películas comestibles de almidón adicionadas con ácido gálico, ácido ascórbico, catequina y quercetina.
- Caracterizar los compuestos antioxidantes de las películas comestibles de almidón y de jícama.
- Analizar las cinéticas de impregnación de los compuestos antioxidantes de películas comestibles de almidón a jícama.

6. PLAN DE TRABAJO

La Figura 5 muestra el diagrama de trabajo que se llevó a cabo en esta investigación.

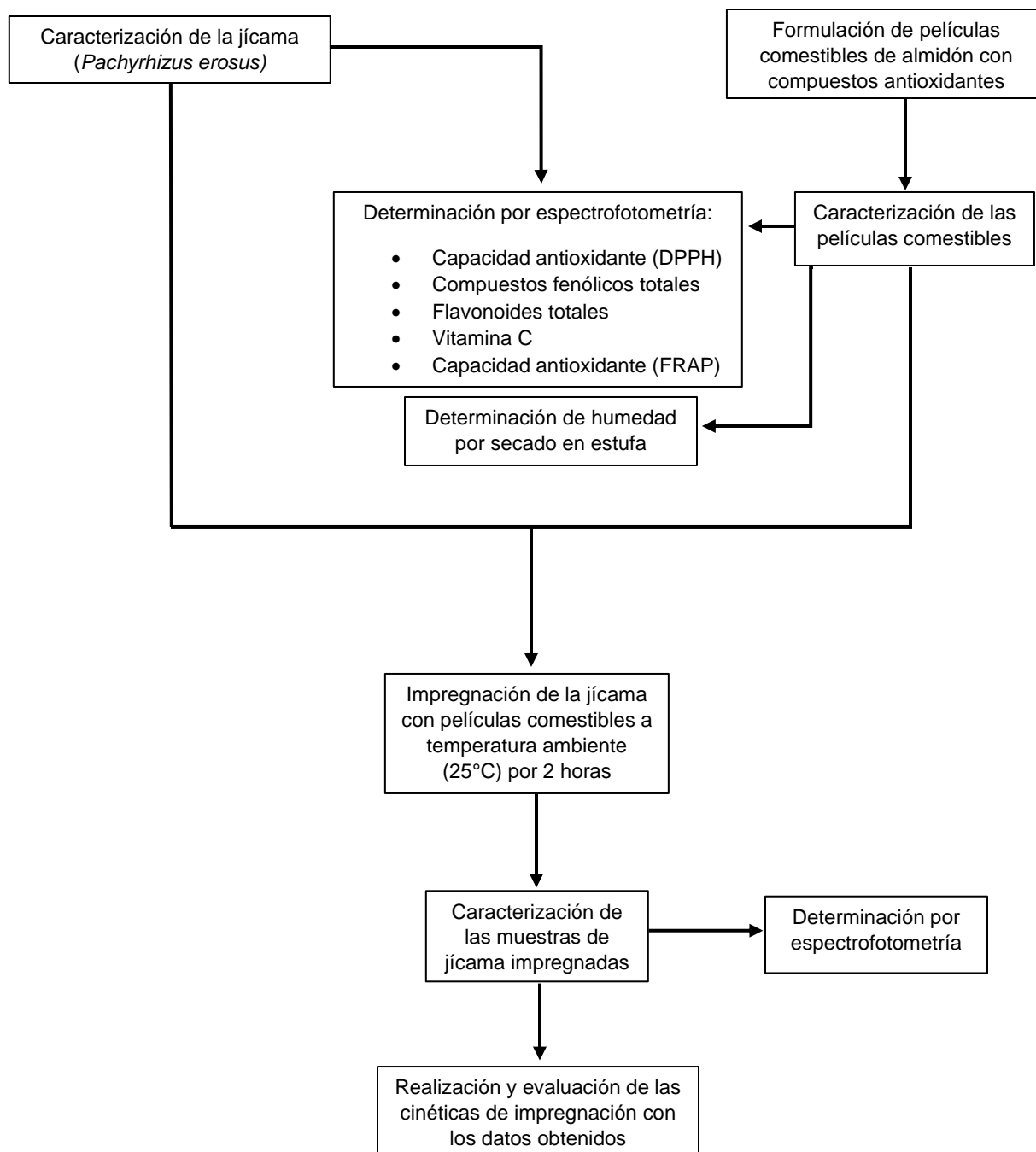


Figura 6. Diagrama de trabajo de la impregnación de compuestos antioxidantes a jícama.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio: El necesario para la formulación de las películas y para las pruebas de caracterización.
- Reactivos: De grado analítico y alimenticio; los necesarios para las formulaciones de las películas y la realización de pruebas de caracterización.
- Material biológico: Jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)

Tabla 1. Determinaciones y técnicas empleadas.

Determinación	Técnica	Referencia
pH	Potenciometría	NOM-F-317-S-1978
Humedad	Secado en estufa	AOAC, 2005
Capacidad antioxidante (DPPH)	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Compuestos fenólicos totales	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Flavonoides totales	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Vitamina C	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016
Poder Antioxidante del Fierro Reducido (FRAP)	Reacción colorimétrica y medición espectrofotométrica	Hernández-Carranza et al., 2016

Tabla 2. Equipos utilizados.

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	Ohaus®	P313
Espectrofotómetro UV-visible	Spectronic 20 Genesys®	4001/4
Estufa	Felisa	FE-293AD
Deshidratador de alimentos	Excalibur®	PA313
Micropipeta (10-100 µL)	Brand	TP200H
Micropipeta (100-1000 µL)	Brand	TP342H
Parrilla de calentamiento-agitación	Fisher Scientific®	Isotep
Potenciómetro	Conductronic®	pH10
Vortex	IKAVortex 3®	140011124

8. METODOLOGÍA

8.1 JÍCAMA

8.1.1 ANÁLISIS A JÍCAMA

La jícama se adquirió en un mercado local de la ciudad de Puebla, se lavó y desinfectó con hipoclorito de sodio (150 ppm), posteriormente se peló y se cortó en trozos de 1 g, aproximadamente, para su análisis. El trozo de 1 g de jícama se cortó en pequeños pedazos y se mezcló en un tubo con 10 mL de agua destilada para hacer un extracto agitando en vortex por 5 min. De este extracto se tomó el volumen requerido para cada una de las pruebas que se mencionan a continuación:

- Capacidad antioxidante (DPPH)

En esta prueba se mezclaron 1 mL del extracto de jícama y 1 mL de una solución al 0.004% de 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), se dejó que la reacción se efectuara por 30 min y se procedió a hacer la medición en el espectrofotómetro ajustado a 517 nm.

- Compuestos fenólicos totales

Para esta prueba se mezcló 1 mL del extracto de jícama y 1 mL de una solución 0.1M del reactivo de Folin-Ciocalteu, se dejó reaccionar por 3 min y posteriormente se adicionó 1 mL de una solución carbonato de sodio al 0.05%. Pasado un tiempo de 30 min, se realizó la medición en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 765 nm.

- Flavonoides totales

Se usaron 0.5 mL del extracto de jícama para esta prueba; primero se mezclaron con 0.5 mL de una solución de nitrito de sodio al 1.5% y se agitó en vortex por 30 s, posteriormente se adicionó 1 mL de una solución de cloruro de aluminio al 3% y se dejó reaccionar por 1 min, finalmente se le agregó 1 mL de hidróxido de sodio 1N. Inmediatamente se hizo la medición en el espectrofotómetro a 490 nm.

- Vitamina C

En esta prueba se hicieron dos reacciones independientes denominadas L₁ y L₂. Para L₁ se colocaron 0.7 mL de una solución denominada “solución extractante” (compuesta

de ácido metafosfórico, ácido acético y agua), se le agregaron 0.7 mL de una solución buffer de fosfatos y, por último, 0.7 mL de una solución 12 ppm de 2,6-diclorofenolindofenol (DCIP). Por otro lado, para L₂ en vez de utilizar la solución extractante, se agregaron primeramente 0.7 mL del extracto de jícama y se adicionan los demás reactivos como en L₁. Ambas mezclas se les midió en seguida la absorbancia ajustando la longitud de onda a 515 nm.

- Capacidad antioxidante (FRAP)

El ensayo del Poder Antioxidante del Fierro Reducido (por sus siglas en ingles Ferric Reducing Antioxidant Power Assay) se realizó mezclando 0.75 mL del extracto de jícama con 1 mL de una solución buffer de fosfatos y 1 mL de ferriocianuro de potasio de una solución al 1%. Esta primera mezcla se agitó en vortex por 15 s y se colocó a baño maría por 20 min. Pasado el tiempo se pusieron en agua fría por 5 min para después adicionarle 1 mL de una solución de ácido tricloroacético al 10% y agitar en vortex 15 s para finalmente agregar 0.25 mL de cloruro férrico de una solución al 0.1%. y pasarlo a vortex por 15 s. Inmediatamente, se hizo la lectura a una longitud de onda de 700 nm.

8.2 PELÍCULAS COMESTIBLES

8.2.1 FORMULACIÓN

Se inició preparando una solución de NaOH a una concentración 0.125N. Una vez preparada la solución, se calentó ligeramente por 2 min para así poder agregar 5 g de almidón y se homogenizó. Se calentó la solución formada hasta 40°C para agregar 0.1 g del compuesto antioxidante a utilizar para la película comestible (ácido gálico, ácido ascórbico, quercetina y catequina) y así tener una concentración de 1000 ppm. Una vez que se homogenizó el compuesto antioxidante empleado, se le agregaron 2 mL de glicerina. Se ajustó el pH a 4 con ácido fosfórico. Una vez ajustado el pH, se dejó reposar por 5 min para después ser vertida en moldes de papel cera de 13.3 cm de largo por 8.9 cm de ancho. Cada molde con mezcla se dejó reposar por 15 min para evitar la formación de burbujas de aire, se colocaron en un deshidratador de alimentos a 52°C durante 2 h en donde por intervalos de 20 min se rotaron de posición los moldes

para obtener un secado uniforme. Transcurrido el tiempo, las películas se desmoldaron.

8.2.2 CARACTERIZACIÓN

Se analizaron cada una de las películas con cada compuesto antioxidante, para lo cual se usaron 0.25 g de película y se disolvieron en 10 mL de agua destilada. Este extracto se procesó en el vortex por 5 min, se procuró que la película estuviera lo más disuelta posible. De este extracto se tomó el volumen necesario para cada prueba de antioxidantes, como se describió en el apartado 7.1.1. para la jícama. De la misma forma, se analizó una película almidón control que estaba formulada sin ningún compuestos antioxidante.

Por otro lado, se utilizaron porciones de 1 g aproximadamente de cada película para la determinación de la humedad por medio de secado en estufa a 95°C. Cada muestra se colocó en charolas metálicas. Se colocaron en la estufa y se dejaron por 3 horas, pasado ese tiempo se colocaron en un desecador por 15 min y finalmente, se registró su peso.

8.3 IMPREGNACIÓN

8.3.1 RECUBRIMIENTO DE JÍCAMA CON PELÍCULAS COMESTIBLES

Se determinó que se usaría un prisma cuadrangular para obtener 9 cubos de jícama, debido a que serían 9 recolecciones durante las 2 horas de impregnación, siendo los tiempos de toma de muestra a los 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 120 min.

Para iniciar con las impregnaciones, se aseguró que las películas comestibles recubrieran en su totalidad la jícama y para la toma de muestra, se quitó la película y se cortó el cubo de 1 cm dejando recubierta nuevamente la jícama.

Cada cubo de jícama que se recolectó se procesó inmediatamente haciendo el extracto en 10 mL y pasándolo por vortex por 5 min. Del este extracto se tomó el volumen requerido para hacer las 5 pruebas espectrofotométricas anteriormente mencionadas y cada una se hacía por duplicado.

8.3.2 CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN

Con los datos obtenidos de cada prueba espectrofotométrica se realizó las cinéticas de impregnación de las 4 películas comestibles con compuestos antioxidantes. Para la elaboración de estas graficas se utilizó el programa Excel y se analizó el comportamiento de la impregnación de las películas a jícama mediante el modelo Azuara et al. (1992).

El modelo de Azuara et al. (1992), es un modelo matemático predictivo utilizado para evaluar cinéticas de impregnación de masa en alimentos. Con este modelo se ajustaron los valores experimentales y valores predictivos en función del tiempo para determinar, en este caso, la ganancia antioxidante y dada la siguiente fórmula:

$$Y_t = Y_e \left[\frac{Kt}{(1 + Kt)} \right]$$

Donde:

Y_t = Cantidad impregnada de un compuesto específico a un tiempo dado

Y_e = Cantidad impregnada de un compuesto específico en equilibrio

K = Constante del modelo Azuara (1/min)

t = Tiempo del proceso (min)

De estos parámetros, los valores obtenidos de Y_e y de K fueron los empleados para realizar el análisis estadístico de las impregnaciones.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 EVALUACIÓN DE LA JÍCAMA Y LAS PELÍCULAS COMESTIBLES

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la jícama y de las películas comestibles de almidón adicionadas con compuestos antioxidantes. En cuanto a la jícama, se puede observar que tiene un bajo contenido de compuestos fenólicos totales (5.18 mg GAE/100g) (GAE = Equivalentes de ácido gálico), ya que si se compara con otros alimentos como la toronja (425 mg GAE/100g) o kiwi (273 mg GAE/100g) (Muñoz et al. 2007), son dos frutas de alto contenido de este tipo de compuestos e incluso con otro tubérculo como la papa cuyo contenido es de aproximadamente 30 mg GAE/100g (Kim et al., 2019). De igual forma, la concentración de flavonoides totales de la jícama (33.12 mg Q/100g) (Q= Quercetina) es baja comparación con el contenido de la papa que se ha reportado de hasta 200 mg Q/100 g) (Akyol et al., 2016) y tiene similitud con lo reportado por Jaiswal et al. (2022) para la jícama que es de 32.9 mg Q/100g. Con respecto al contenido de ácido ascórbico de la jícama (3.64 mg AA/100g) es escaso y está por debajo del contenido de vegetales como el brócoli (91.3 mg/100g), espinacas (28.1 mg/100g), papa (23.3 mg/100g) y relativamente cercano al de zanahoria (5.9 mg/100g) (Benzie & Choi, 2014); cabe destacar que el dato más actual reportado de vitamina C de la jícama es de 14 mg AA/100g (Noman et al., 2007). La capacidad antioxidante de la jícama es baja, tanto en la prueba FRAP (131.6 mg AA/100g) como DPPH (15.08 mg Trolox/100g), siendo así que se ha reportado que la papa tiene entre 30 y 40 mg Trolox/100g (Tsikrika & Rai, 2019).

Con respecto a las películas comestibles, el contenido de compuestos fenólicos totales de la película de ácido gálico fue de 157.58 mg GAE/100g, de quercetina fue 144.25 mg GAE/100g) y de catequina fue 130.92 mg GAE/100g; estas concentraciones están por debajo del contenido de películas de almidón adicionadas con cáscara de mango que están entre 247 y 298 mg GAE/100g (Rojas-Bravo et al., 2019)., ésta diferencia de contenido puede deberse a que el mango es un fruto conocido por su alta y variada concentración de compuestos fenólicos, a diferencia de las películas elaboradas de un solo compuesto fenólico. Los valores de flavonoides totales de las películas de

quercetina (146.67 mg Q/100g) y catequina (208.48 mg Q/100g) son más elevados que el contenido en películas comestibles de almidón con compuestos bioactivos que están entre 46 y 48 mg Q/100g (Freitas et al., 2021); este mayor contenido puede deberse a que las películas están elaboradas con un flavonoide puro haciendo notoria su alta concentración en esta prueba. La concentración de ácido ascórbico en la película comestible de este mismo compuesto (6.54 mg AA/100g) resulta inferior al compararlo con el contenido de películas comestibles de alginato adicionadas con ácido ascórbico que es de aproximadamente 14 mg AA/100g (De'Nobili et al. 2015); la razón por la que la concentración está por debajo de la mitad podría deberse a diferencias en la metodología de elaboración de las películas comestibles al adicionar el ácido ascórbico. Con respecto a la capacidad antioxidante de las 4 película, los valores se encuentran entre 84 y 105 mg Trolox/100g, los cuales son cercanos a los obtenidos por Cheng et al. (2015), quienes informaron valores de 96 a 321 mg Trolox/100g en películas comestibles con compuestos fenólicos. Con base en lo anterior, las películas comestibles elaboradas cumplen con las características antioxidantes esperadas para su uso en la transferencia de compuestos antioxidantes

Tabla 3. Determinación de características antioxidantes en jícama y películas comestibles.

Muestra	CFT (mg GAE/100g)	FT (mg Q/100g)	AA (mg AA/100g)	CA (FRAP) (mg AA/100g)	CA (DPPH) (mg Trolox/100g)
Jícama	5.18 ± 0.18d	33.12 ± 1.18d	3.64 ± 0.19b	131.60 ± 16.13c	15.08 ± 1.94e
Control	10.92 ± 1.23c	92.72 ± 6.56c	0.49 ± 0.36c	92.44 ± 0.94d	27.09 ± 0.67d
Ácido Gálico	157.58 ± 13.58a	--	--	1613.33 ± 94.28a	84.37 ± 0.32c
Quercetina	144.25 ± 1.71a	146.67 ± 1.05b	--	92.29 ± 9.43d	97.10 ± 0.32b
Catequina	130.92 ± 3.55b	208.48 ± 5.84a	--	118.07 ± 34.57c	85.48 ± 0.32c
Ácido ascórbico	--	--	6.54 ± 0.04a	392.59 ± 34.57b	105.37 ± 0.73a

CFT: Compuestos fenólicos totales; FT: Flavonoides totales; AA: Ácido ascórbico; CA: Capacidad antioxidante.

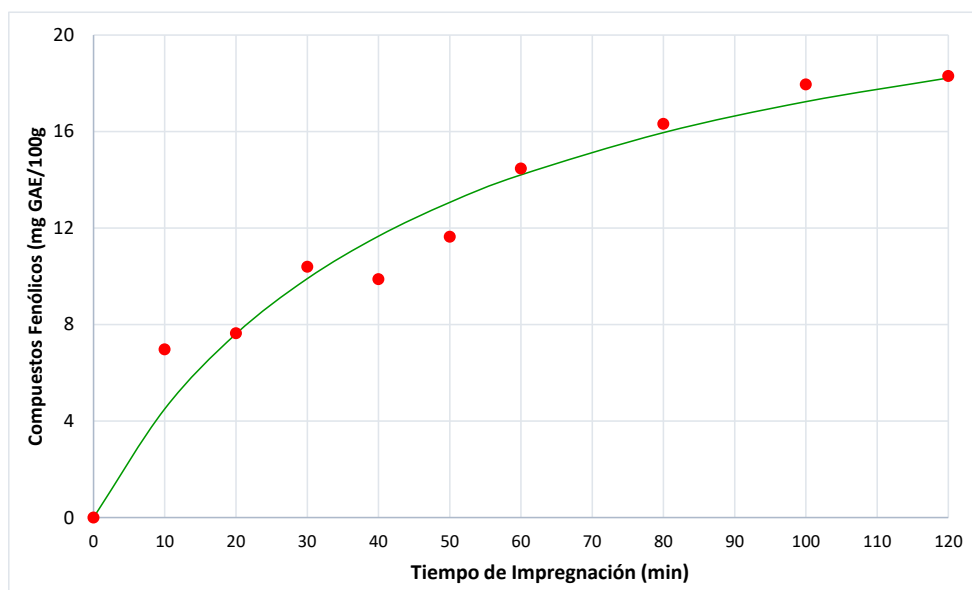
Promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna para la misma prueba indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

9.2 CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN DE JÍCAMA CON PELÍCULAS COMESTIBLES

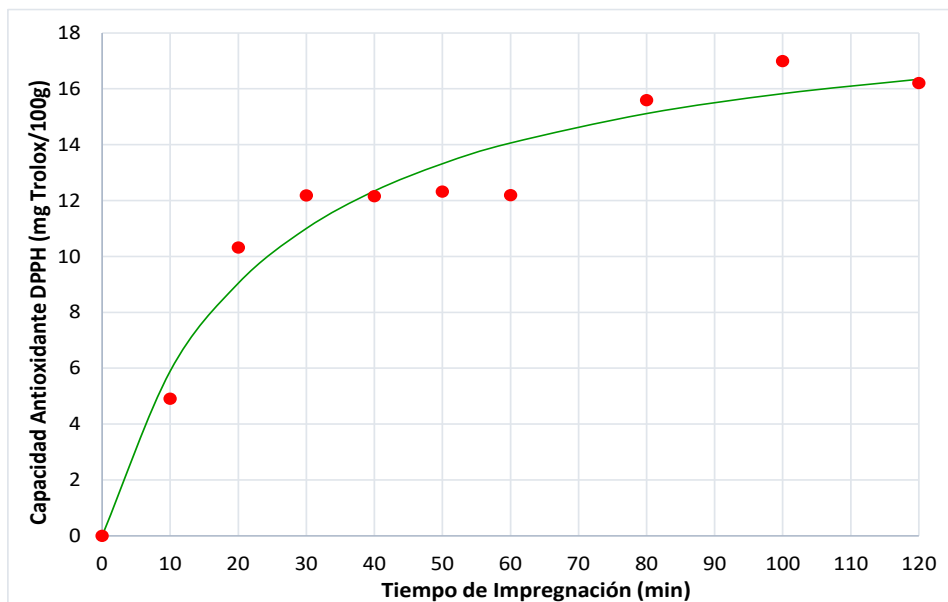
9.2.1 PELÍCULA COMESTIBLE CON ÁCIDO GÁLICO

En la figura 6 se muestran las cinéticas de impregnación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante desde la película de ácido gálico a jícama. La cinéticas obtenidas para esta impregnación muestran un incremento acentuado entre los primeros 20-30 minutos del proceso, aproximadamente, tanto de los compuestos fenólicos (ganancia de 10 mg GAE/100g) como de la capacidad antioxidante por DPPH (ganancia de 10 mg Trolox/100g) y por FRAP (ganancia de 1030 mg AA/100g). Después de este tiempo, se observan ganancias cada vez más bajas y, aproximadamente, al llegar a los 100 minutos de la impregnación se nota que se alcanza el equilibrio llegando a ganancias totales de 18 mg GAE/100g de compuestos fenólicos, 16 mg Trolox/100g de capacidad antioxidante por DPPH y 1200 mg AA/100g de capacidad antioxidante por FRAP.

A)



B)



C)

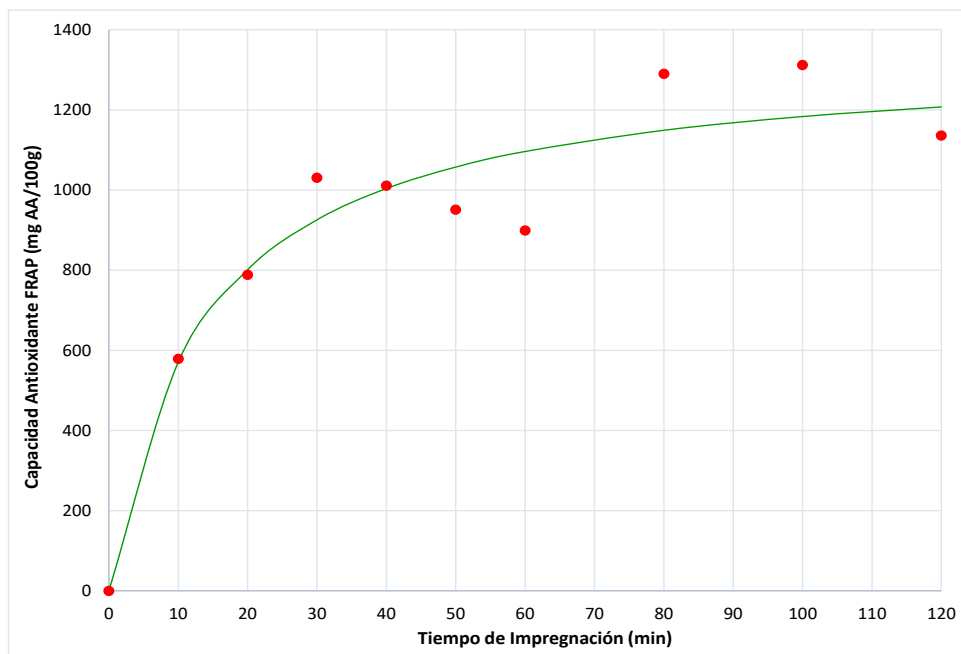
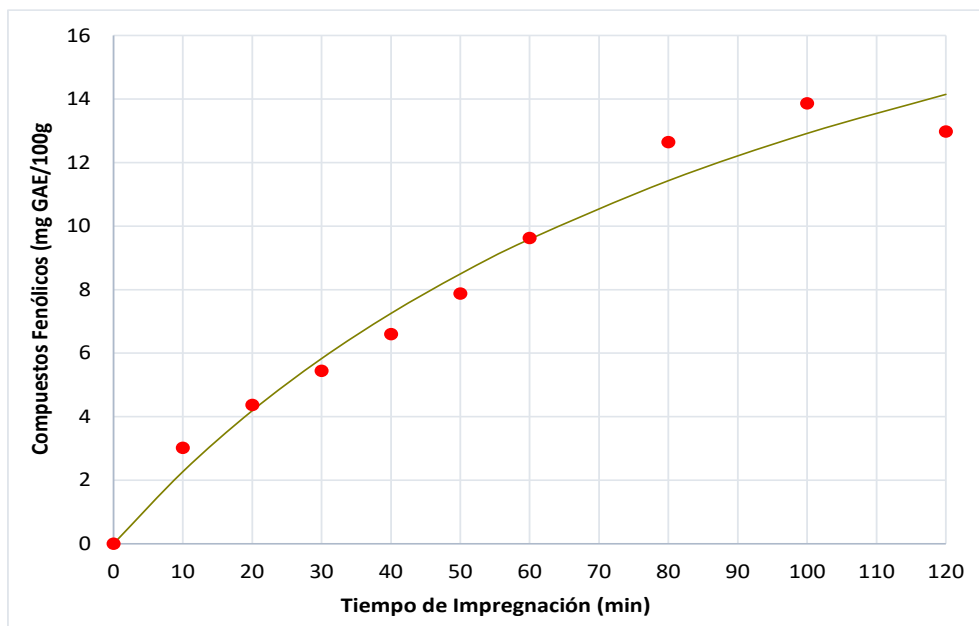


Figura 7. Cinéticas de impregnación de la película comestible con ácido gálico a jícama. (A) compuestos fenólicos, (B) capacidad antioxidante DPPH y (C) capacidad antioxidante FRAP.

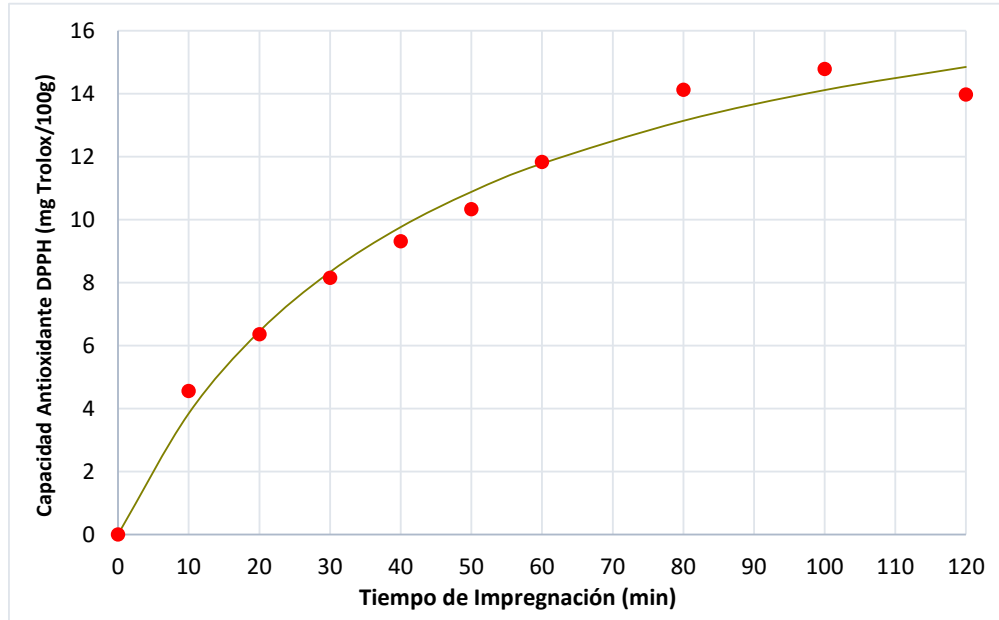
9.2.2 PELÍCULA COMESTIBLE CON QUERCETINA

En la figura 7 se muestran las cinéticas de impregnación de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante desde la película de quercetina a jícama. La cinética de impregnación de capacidad antioxidante por DPPH muestra una elevación grande durante los primeros 30 minutos con una ganancia de 8 mg GAE/100g, posteriormente la ganancia es más discreta y a los 120 minutos se observa que está alcanzando el equilibrio con una ganancia total de 14.85 mg Trolox/100g. En el caso de las cinética de impregnación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante por FRAP, la ganancia muestra ser más proporcionada sin elevaciones marcadas a un tiempo específico (ganancias de 2 mg GAE/100g para compuestos fenólicos y de 100 mg AA/100g para FRAP entre tiempos, respectivamente) y apenas observable el equilibrio de la impregnación al llegar a los 120 minutos del proceso. La cinética de flavonoides muestra un comportamiento lineal con incrementos marcados de 2 mg Q/100g sin ningún cambio durante las 2 horas y sin mostrar indicios de equilibrio.

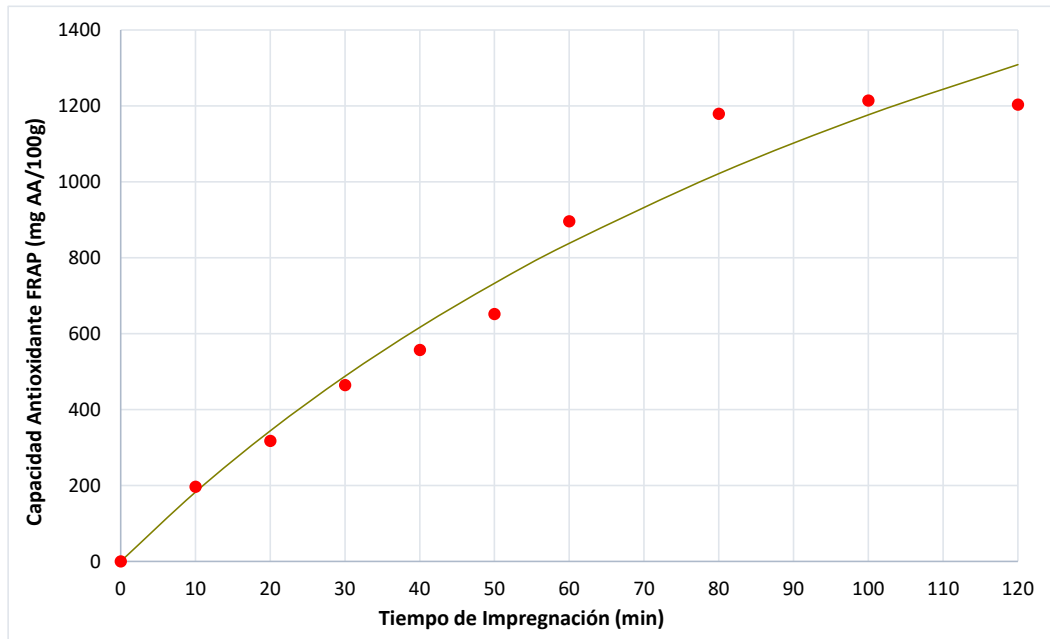
A)



B)



C)



D)

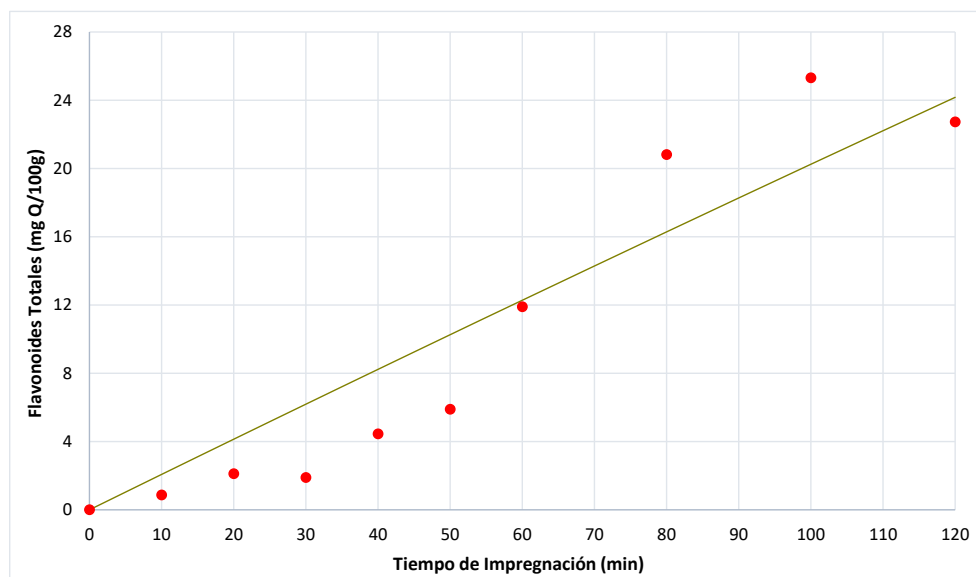
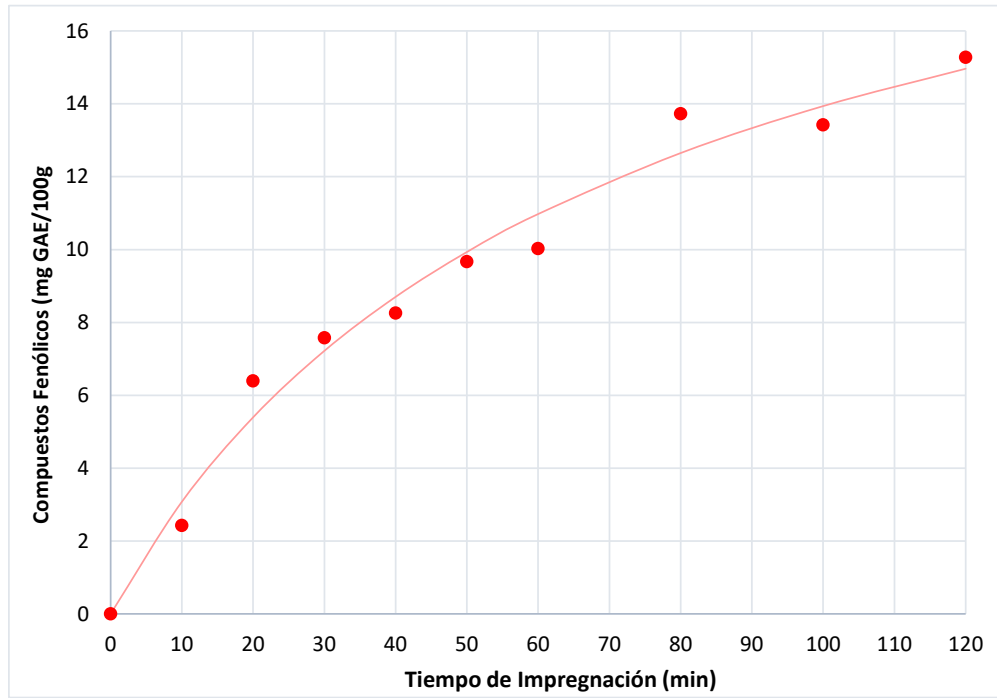


Figura 8. Cinéticas de impregnación de la película comestible con quercetina a jícama. (A) compuestos fenólicos, (B) flavonoides totales, (C) capacidad antioxidante DPPH y (D) capacidad antioxidante FRAP.

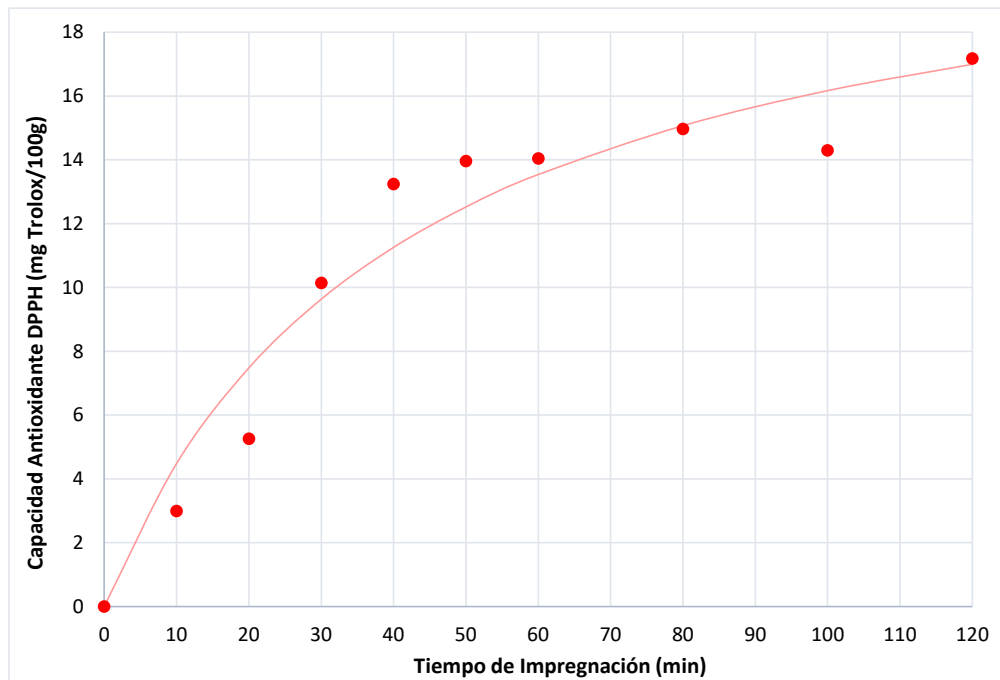
9.2.3 PELÍCULA COMESTIBLE CON CATEQUINA

En la figura 8 se muestran las cinéticas de impregnación de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante desde la película de catequina a jícama. Tanto la cinética de compuestos fenólicos como de capacidad antioxidante por DPPH muestran altas ganancias en los primeros 30 minutos (ganancia de 7 mg GAE/100g y 10 mg Trolox/100g, respectivamente), después de este tiempo son incrementos de 1 unidad entre intervalos hasta llegar al los 80 minutos donde comienza a observarse el equilibrio con ganancias totales de 15 mg GAE/100g para compuestos fenólicos y 17 mg Trolox/100g para capacidad antioxidante para DPPH. Caso contrario para las cinéticas de flavonoides y capacidad antioxidante por FRAP, donde se observan ganancias lineales de 1 mg Q/100g y 80-100 mg AA/100g entre intervalos, respectivamente, sin llegar a mostrar tendencia al equilibrio al transcurrir los 120 minutos.

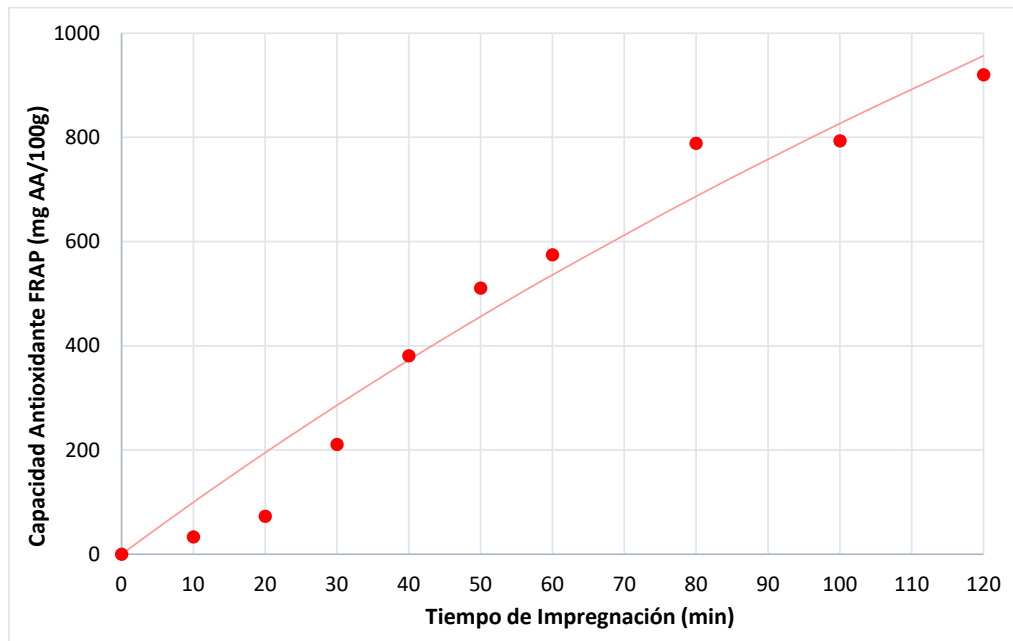
(A)



(B)



(C)



(D)

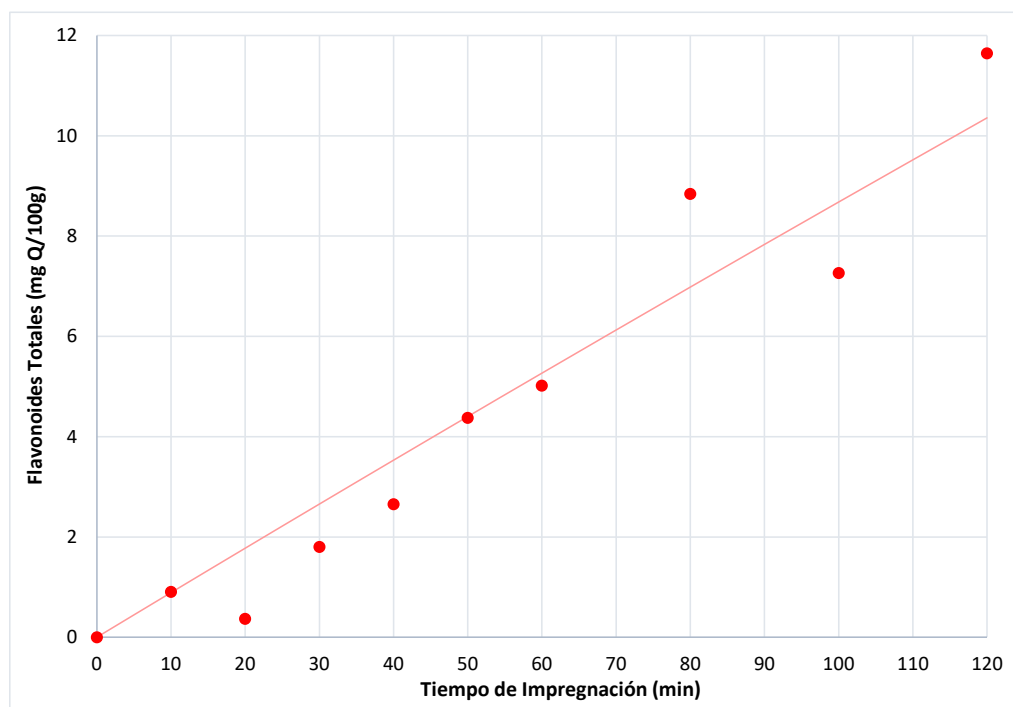
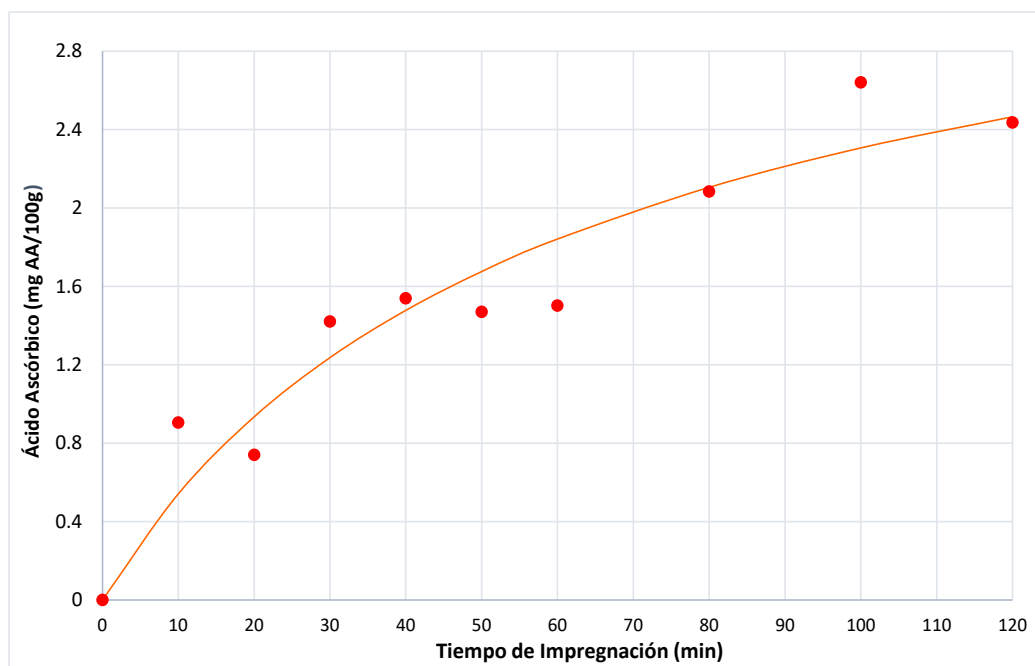


Figura 9. Cinéticas de impregnación de la película comestible con catequina a jícama. (A) compuestos fenólicos, (B) flavonoides totales, (C) capacidad antioxidante DPPH y (D) capacidad antioxidante FRAP.

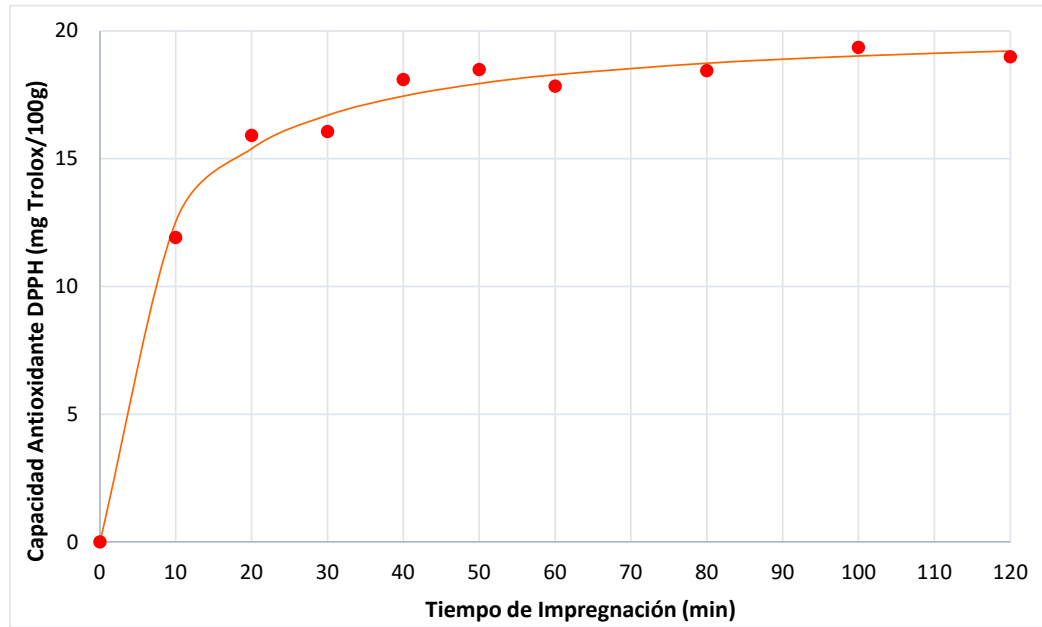
9.2.4 PELÍCULA COMESTIBLE CON ÁCIDO ASCÓRBICO

En la figura 9 se muestran las cinéticas de impregnación de vitamina C y capacidad antioxidante de la película formulada con ácido ascórbico a jícama. En la cinética de ácido ascórbico se muestra una ganancia total de 2.4 mg AA/100g con las elevaciones mas notarias en los primeros 20 minutos con incrementos de aproximadamente 0.5 mg AA/100g y es apreciable el inicio del equilibrio al acabar el proceso. La cinética de capacidad antioxidante por DPPH muestra un notorio incremento a los 10 minutos con una ganancia de 12 mg Trolox/100g y al llegar a los 30 minutos es visible que la impregnación llego al equilibrio con una ganancia final de 19 mg Trolox/100g. Finalmente, la cinética de capacidad antioxidante por FRAP es la que muestra una tendencia mas lineal con ganancias que oscilan entre 150 y 200 mg AA/100g entre los intervalos de tiempo y acabado el proceso aun no es notorio el inicio del equilibrio.

(A)



(B)



(C)

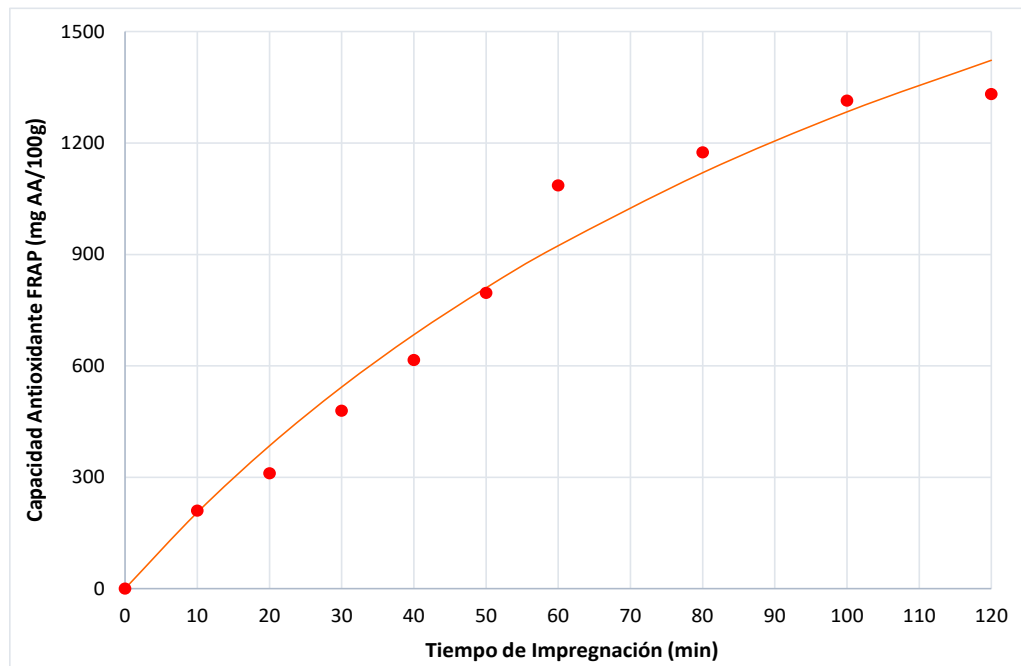


Figura 10. Cinéticas de impregnación de la película comestible con ácido ascórbico a jícama. (A) vitamina C, (B) capacidad antioxidante DPPH y (C) capacidad antioxidante FRAP.

El fenómeno de impregnación es un tipo de adsorción donde los compuestos que se transfieren se adhieren a la pared del alimento y el contenido total que se impregna está directamente relacionado con el área del alimento.

De manera general, Wang et al. (2015) describe el comportamiento ideal de las cinéticas de impregnación como logarítmico, esto quiere decir que, en un inicio, la superficie del alimento está libre para serle transferida compuestos bioactivos, por lo que es una adsorción rápida, que se observará gráficamente como una elevación acentuada en la concentración. Después de los minutos iniciales, la superficie comienza a ser llenada por los compuestos transferidos y en la gráfica se nota un incremento más discreto para, finalmente, llegar a un punto de linealidad causado por el llenado total de la superficie del alimento donde la concentración se mantendrá constante con respecto al tiempo debido a que no se están impregnando más compuestos.

9.3 MODELADO DE LAS CINÉTICAS DE IMPREGNACIÓN

En la tabla 4 se muestran los valores dados por el modelo Azuara, et al. (1992), que indican la ganancia de compuestos antioxidantes (Y_e) y la tasa de impregnación con respecto al tiempo (K). Los coeficientes de ganancia (Y_e) muestran que la jícama tuvo un incremento en la concentración de los compuestos antioxidantes analizados (fenólicos, flavonoides y vitamina C) y de la capacidad antioxidante (DPPH y FRAP) con respecto a la cantidad inicial, pero no hubo una diferencia significativa entre las impregnaciones de las 4 películas comestibles en cada una de las pruebas realizadas ($p > 0.05$), esto significa que si bien se logró transferir compuestos y capacidad antioxidante con cada película comestible, no se demostró que hubiera una película comestible en particular que diera una mayor ganancia. No obstante, con los coeficientes de capacidad de impregnación (K), se denota una diferencia significativa ($p < 0.05$) donde los valores indican que la película comestible con ácido gálico es la que mejor impregna con respecto al tiempo, tanto en la prueba de compuestos fenólicos como las de capacidad antioxidante por DPPH y FRAP. Esta diferencia significativa puede ser observada en las cinéticas de esta película, ya que fue la única que, en todas sus cinéticas, evidenciaba incrementos notorios en un corto tiempo y

lograba alcanzar el equilibrio al final de la impregnación, a diferencia del resto de las películas comestibles donde algunas de sus cinéticas demostraban que impregnaban concentraciones más bajas sin variar conforme el tiempo transcurría y sin reflejar que llegasen al equilibrio.

Tabla 4. Coeficientes del modelo de Azuara para la cinética de impregnación de compuestos y capacidad antioxidante de películas comestibles a jícama.

PRUEBA	PELÍCULA COMESTIBLE	Ye	K
Compuestos Fenólicos Totales	Ácido Gálico	25.65 ± 3.51a	0.02 ± 0.01a
	Quercetina	26.96 ± 1.93a	0.01 ± 0.02x10 ⁻² b
	Catequina	24.24 ± 7.25a	0.02 ± 0.01b
Flavonoides Totales	Quercetina	840.33 ± 424.67a	0.03x10 ⁻² ± 0.01x10 ⁻² a
	Catequina	379.83 ± 199.79a	0.03x10 ⁻² ± 0.01x10 ⁻² a
Vitamina C	Ácido Ascórbico	3.86 ± 0.76a	0.02 ± 0.01a
DPPH	Ácido Gálico	19.53 ± 2.31a	0.04 ± 0.01a
	Quercetina	20.09 ± 0.68a	0.02 ± 0.05x10 ⁻² b
	Catequina	22.86 ± 0.39a	0.02 ± 0.04x10 ⁻¹ b
	Ácido Ascórbico	20.26 ± 1.56a	0.19 ± 0.11a
FRAP	Ácido Gálico	1343.97 ± 184.75a	0.07 ± 0.01x10 ⁻¹ a
	Quercetina	3007.93 ± 157.17a	0.01 ± 0.01x10 ⁻¹ b
	Catequina	5141.23 ± 2581.53a	0.02x10 ⁻¹ ± 0.01x10 ⁻¹ c
	Ácido Ascórbico	3111.54 ± 55.90a	0.01 ± 0.01x10 ⁻¹ b

Promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna para la misma prueba indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

9.4 HUMEDAD

En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos de porcentaje de humedad para cada película comestibles con compuestos antioxidante. El porcentaje de humedad de todas las películas es cercano o igual al 11% sin tener una diferencia significativa ($p > 0.05$) y este porcentaje de humedad indica que el plastificante fue capaz de reducir las fuerzas intramoleculares de la mezcla formadora de las películas lo suficiente para añadir humedad y así conferirles movilidad. Estos valores se asemejan a lo descrito

Rusmawati et al. 2020, donde se elaboraron recubrimientos comestibles con diferentes tipos de almidón y glicerol, reportando porcentajes de humedad de entre 9 y 12%.

Tabla 5. Determinación de humedad de las películas comestibles con compuestos antioxidantes.

Compuesto antioxidante	%Humedad
Ácido gálico	10.80 ± 0.21a
Quercetina	10.71 ± 0.43a
Catequina	11.00 ± 0.09a
Ácido ascórbico	10.89 ± 0.28a

Promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna para la misma prueba indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

10. CONCLUSIONES

1. Se consiguieron formular películas comestibles de almidón, las cuales se lograron caracterizar y mostraron tener el contenido antioxidante requerido para ser usadas en la impregnación.
2. Se logró caracterizar el contenido y la capacidad antioxidante jícama (*Pachyrhizus erosus L.*) para confirmar su escasa concentración de compuestos antioxidantes.
3. Se obtuvieron las cinéticas de impregnación con las cuales se determinó que las películas comestibles lograron transferir tanto compuestos antioxidantes (compuesto fenólicos, flavonoides y vitamina C) como capacidad antioxidante a la jícama.
4. Con la evaluación de las cinéticas de impregnación, con el modelo de Azuara, se determinó que entre las 4 películas comestibles no había diferencia significativa con respecto a la ganancia total de compuestos (compuesto fenólicos, flavonoides y vitamina C) y la capacidad antioxidante de la jícama.
5. Con los parámetros comparables del modelo Azuara, se determinó que la película comestible de ácido gálico tenía una mayor velocidad de transferencia de compuestos antioxidantes a jícama en comparación con las otras películas comestibles.

11. RECOMENDACIONES

- Ampliar la evaluación física de las películas.
- Evaluar sensorialmente tanto las películas comestibles individualmente como en empaquetamiento con la jícama.
- Formular películas comestibles con la adición de 2 o más de los compuestos antioxidantes usados.
- Utilizar otros alimentos con bajo contenido antioxidantes para ser impregnados.
- Aumentar el tiempo de impregnación para ciertos antioxidantes.

12. REFERENCIAS

Aguirre, M., Ruiz, I. & Ochoa, C. (2017). Estudio de la transferencia de masa y capacidad antioxidante durante la impregnación de una matriz de manzana (*Malus domestica*) con jugo de betabel [tesis maestría]. Repositorio Institucional de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Akbari, A., Jelodar, G., Nazifi, S. & Sajedianfard, J. (2016). An overview of the characteristics and function of vitamin c in various tissues: relying on its antioxidant function. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 18 (11).

Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M. & Verardo, V. (2016). Phenolic compounds in the potato and its byproducts: an overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17 (6).

Arteaga-Murguía, D., Alarcón-Domínguez, E., Gutiérrez-Sánchez, Q. Rodríguez-Jiménez, H. & Zamora-Gasca, V. (2021). Eficacia de la incorporación dietética de alimentos bajos en carbohidratos simples y altos en antioxidantes sobre parámetros antropométricos en mujeres con sobrepeso. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 20 (1), 20-29.

Azuara, E., Beristain, C., García, H. (1992). Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *Journal of Food Science and Technology Mysore*, 29, 239-242.

A.O.A.C. (2005). Association of Official Analytical Chemists – AOAC. Official methods of análisis (21st ed.). Rockville: AOAC.

Bernatoniene, J. & Kopustinskiene, D. (2018). The role of catechins in cellular responses to oxidative stress. *Molecules*, 23.

Benzie, I & Choi, S. (2014). Antioxidants in food: content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. *Advances in Food and Nutrition Research*, 71.

Burciaga, H. (2001). Comportamiento físico-químico durante el desarrollo del tubérculo de jícama [tesis maestría]. Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Câmara, J., Albuquerque, B., Aguiar, J., & Ferreira, I. (2020). Food bioactive compounds and emerging techniques for their extraction: polyphenols as a case study. *Foods*, 10(1), 1-34.

Cheng, S., Wang, B. & Weng, Y. (2015). Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids. *LWT - Food Science and Technology*, 63.

De Ancos, B., Gonzalez-Peña, D., Colina-Coca, C. & Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16 (1), 8-17.

De'Nobili, M., Soria, M., Martinefski, M., Tripodi, V., Fissore, E. & Rojas, A. (2015). Stability of L-(+)-ascorbic acid in alginate edible films loaded with citric acid for antioxidant food preservation. *Journal of Food Engineering*, 175, 1-7.

Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A. & Falcon, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24 (3), 52-57.

Freitas, T., Garcia, V., Filgueiras, C., Velasco, J. & Fakhouri, F. (2021). Production of edible films based on pea starch with incorporation of active compounds obtained from the purple araçá (*Psidium myrtoides*). *Polymers* 2021, 13.

Gámez-Villazana, J. (2020). Avances en la determinación de compuestos bioactivos en alimentos. *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía*, 19, 7-17.

Gao, J., Hu, J., Hu, D. & Yang, X. (2019). A role of gallic acid in oxidative damage diseases: a comprehensive review. *Natural Product Communications*, 14 (8).

Gęgotek, A. & Skrzydlewska, E. (2022). Antioxidative and anti-inflammatory activity of ascorbic acid. *Antioxidants* 2022, 11.

González, M., Betancourt, M. & Ortiz, R. (2002). Daño oxidativo y antioxidantes. *Bioquímica*, 25 (1), 3-9.

Hassoun, A. Rodríguez, M., Prieto, M., Simal-Gandara, J., Ozogul, F., Özogul, Y., Coban, Ö., Gudjonsdottir, M. & Barba, F. (2020) Use of spectroscopic techniques to monitor changes in food quality during application of natural preservatives: a review. *Antioxidants*, 9, 882.

Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Guerrero-Beltrán, J., Navarro-Cruz, A., Corona-Jiménez, E. & Ochoa-Velasco, C. (2016). Optimization of antioxidant compounds extraction from fruit by-products: apple pomace, orange and banana peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40, 103–115.

Jaiswal, V., Chauhan, S. & Lee, H-J. (2022). The bioactivity and phytochemicals of *pachyrhizus erosus* (L.) urb.: a multifunctional underutilized crop plant. *Antioxidants*, 11.

Kim, J., Soh, S., Bae, H. & Nam, S. (2019). Antioxidant and phenolic contents in potatoes (*Solanum tuberosum* L.) and micropropagated potatoes. *Applied Biological Chemistry*, 62 (17).

Legua, P., Domenech, A., Martínez, J., Sánchez-Rodríguez, L., Hernández, F., Carbonell-Barrachina, A. & Melgarejo, P. (2017). Bioactive and volatile compounds in sweet cherry cultivars. *Journal of Food and Nutrition Research*, 5(11), 844-851.

López, A., López, E. & Montero, M. (2012). Diseño, desarrollo y aplicación de envases comestibles potencialmente bioactivos. Universidad Complutense de Madrid.

Lovera, M., Hernandez, O., Tapia, M., Perez, E., Emaldi, U., Laurentin, A. & Tovar, J. (2012). Digestibilidad in vitro de películas comestibles a base de diferentes almidones. *Memorias del Instituto de Biología Experimental*, 6, 113-116.

Mariaca, C., Zapata, M. & Uribe, P. (2016). Oxidación y antioxidantes: hechos y controversias. *Revista de la Asociación Colombiana de Dermatología*, 24(3).

Marino, T., Galano, A. & Russo, N. (2014). Radical scavenging ability of gallic acid toward OH and OOH radicals, reaction mechanism and rate constants from the density functional theory. *The Journal of Physical Chemistry*, 118(35), 10380–10389.

Martínez, G. (2005). Especies reactivas del oxígeno y balance redox, parte I: aspectos básicos y principales especies reactivas del oxígeno. *Revista Cubana de Farmacia*, 39(5).

Muñoz, A., Ramos-Escudero, F., Alvarado-Ortiz, C. & Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3).

Navia, P., Ayala, A. & Villada, H. (2014). Interacciones empaque-alimento: migración. *Revista Ingenierías*, 13(25).

Nešić, A., Cabrera-Barjas, G., Dimitrijević-Brankovic, S., Davidović, S., Radovanović, N. & Delattre, C. (2020). Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging. *Molecules*, 25(135).

Noman, A., Hoque, M., Haque, M., Pervin, F. & Karim, M. (2007). Nutritional and anti-nutritional components in *Pachyrhizus erosus* L. tuber. *Food Chemistry*, 102(4), 1112-1118.

NOM-F-317-S-1978. (1978). NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos" NOM-F-317-S-1978. *Diario Oficial de la Federación*, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

Pacheco, N., Naal-Ek, M., Ayora-Talavera, T., Shirai, K., Román-Guerrero, A., Fabela-Morón, M. & Cuevas-Bernardino, J. (2018). Effect of bio-chemical chitosan and gallic acid into rheology and physicochemical properties of ternary edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 149-158.

Qi, W., Qi, W., Xiong, D & Long, M. (2022). Quercetin: its antioxidant mechanism, antibacterial properties and potential application in prevention and control of toxipathy. *Molecules*, 27.

Quintero, C., Falguera, V. & Muñoz, H. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga* 2010, 5, 93-118.

Quiñones, M., Miguel, M. & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76-89.

Ramos-de-la-Peña, A., Renard, C., Wicker, L., Montañez, J., Reyes-Vega, M., Voget, C., & Contreras-Esquivel, J. (2012). Enzymatic liquefaction of jicama (*Pachyrhizus erosus*) tuberous roots and characterization of the cell walls after processing. *LWT-Food Science and Technology*, 49(2), 257-262.

Rojas-Bravo, M., Rojas-Zenteno, E., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Aguilar-Sánchez, R., Ruiz-López, I. & Ochoa-Velasco, C. (2019). A potential application of mango (*Mangifera indica* L. cv Manila) peel powder to increase the total phenolic compounds and antioxidant capacity of edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1584–1592.

Rusmawati, D., Yuliasih, I. & Sunarti, T. (2020). Process design of acetylated sago starch-based edible film

Salgado, P., Ortiz, C., Musso, Y., Di Giorgio, L. & Mauri, A. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, 86-92.

Santos-Sánchez, N., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C. & Hernández-Carlos, B. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. *Antioxidants*. IntechOpen.

Singh, A., Kim, J. & Lee, Y. (2022). phenolic compounds in active packaging and edible films/coatings: natural bioactive molecules and novel packaging ingredients. *Molecules*, 27.

Solano-Doblado, L., Alamilla-Beltrán, L. & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30-42.

Stevenson, D., Jane, J. & Inglett, G. (2007). Characterisation of jicama (Mexican potato) (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) starch from taproots grown in USA and Mexico. *Starch-Stärke*, 59(3-4), 132-140.

Talón, E., Atarés, L., Vargas, M. & Bonilla, J. (2012). Efecto de la incorporación de ingredientes activos en las propiedades físicas y antioxidantes de películas de almidón de trigo y quitosano [tesis maestría]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Valencia.

Tsikrika, K. & Rai, D. (2019). The effect of high pressure processing on antioxidant activity of irish potato cultivars. *Proceedings*, 11(9).

Wang, W., Pan, S., Xu, R., Zhang, J., Wang, S. & Shen, J. (2014). Competitive adsorption behaviors, characteristics, and dynamics of phenol, cresols, and dihydric phenols onto granular activated carbon. *Desalination and Water Treatment*, 56(3), 770-778.

Xu, D., Hu, M., Wang, Y. & Cui, Y. (2019). Antioxidant activities of quercetin and its complexes for medicinal application. *Molecules*, 24.

Zanwar, A., Badole, S., Shende, P., Hegde, M. & Bodhankar, S. (2014). Antioxidant role of catechin in health and disease. *Polyphenols in Human Health and Disease*, 267-271.