



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL UNIDAD OAXACA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

PRE-TRATAMIENTO CON EXTRACTOS VEGETALES Y RECUBRIMIENTO DE HPMC EN EL SECADO CONVECTIVO DE RODAJAS DE MANZANA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

ADRIANA NAYELI ROBLES HERRERA

DIRECTORES:

DR. JUAN RODRÍGUEZ RAMÍREZ
M. EN C. LAURA VICTORIA AQUINO GONZÁLEZ

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México, Noviembre de 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca siendo las 12:30 horas del día 05 del mes de Noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR OAXACA para examinar la tesis titulada:
"Pre-tratamiento con extractos vegetales y recubrimiento de HPMC en el secado convectivo de rodajas de manzana".

Presentada por el alumno:

Robles Herrera
Apellido paterno Apellido materno

Nombre(s): Adriana Nayeli

Con registro:

B	1	7	0	2	1	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:


Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

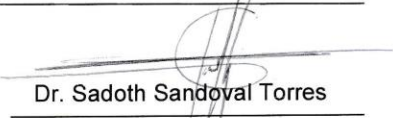
LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis


Dr. Juan Rodríguez Ramírez

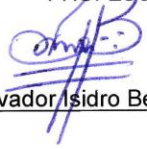

M. En C. Laura Victoria Aquino González


Dra. Lilia Leticia Méndez Lagunas


Dr. Sadoth Sandoval Torres


Dr. Luis Gerardo Barriada Bernal

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE
PROFESORES


Dr. Salvador Isidro Belmonte Jiménez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
D.I.R.
UNIDAD OAXACA
IPN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca el día 05 del mes de noviembre el año 2019, el (la) que suscribe Adriana Nayeli Robles Herrera alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales con número de registro B170217, adscrito a Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Juan Rodríguez Ramírez y M. en C. Laura Victoria Aquino González y cede los derechos del trabajo titulado: **“Pre-tratamiento con extractos vegetales y recubrimiento de HPMC en el secado convectivo de rodajas de manzana”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **aroblesh1700@alumno.ipn.mx**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y **citar la fuente del mismo.**


Adriana Nayeli Robles Herrera

Nombre y firma



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

La historia de la ciencia, como la de todas las ideas humanas, es una historia de sueños irresponsables, de obstinaciones y errores. Sin embargo, la ciencia es una de las pocas actividades humanas -quizá la única- en la cual los errores son criticados sistemáticamente y muy a menudo, con el tiempo, corregidos.

Karl Popper

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las siguientes instituciones por el apoyo otorgado durante este trabajo de tesis.

Este trabajo se realizó en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca (CIIDIR-OAX-IPN). La parte experimental se realizó en el laboratorio de Tecnología Agroalimentaria de la Línea de Investigación de Ingeniería del Departamento de Posgrado.

Durante el período de investigación se contó con el apoyo de la beca de maestría número 630508 otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). También con el apoyo de la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

Durante el tercer semestre de la Maestría se realizó una estancia de investigación con el apoyo del programa de Becas al Extranjero del CONACYT y el apoyo de la Coordinación de Cooperación Académica (CCA) del Instituto Politécnico Nacional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a cada una de las personas que con su aporte científico y humano han colaborado en la realización de la tesis.

A mis directores de tesis Doctor Juan Rodríguez Ramírez y Maestra en Ciencias Laura Victoria Aquino González por compartir sus conocimientos, sus recomendaciones, por su valioso apoyo y motivación.

A la Doctora Lilia Leticia Méndez Lagunas, al Doctor Sadoth Sandoval Torres y al Doctor Luis Gerardo Barriada Bernal por sus apreciados aportes y sugerencias.

A la Doctora María Consuelo González Martínez por recibirme en el grupo de investigación de Físicoquímica de Alimentos del Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia. Gracias por su invaluable apoyo constante y confianza.

A la Doctora María Eugenia Martín Esparza por los conocimientos transmitidos y apoyo durante mi estancia de investigación.

A las grandes personas que conocí durante esta etapa, a los buenos amigos, en especial a Vicencio.

Gracias infinitas a mi papá, mi mamá, mis hermanos, mis sobrinos
y a mi amado esposo Eduardo. Por sus palabras de aliento,
motivación, por creer en mí y estar a mi lado siempre.

RESUMEN

Los recubrimientos comestibles, aplicados a los alimentos antes del secado por convección, podrían preservar las propiedades sensoriales y nutricionales de los productos deshidratados sin afectar la velocidad de secado. Se estudió el efecto de un recubrimiento comestible de hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) con extractos naturales sobre el cambio de color, el contenido de fenoles totales, la textura y rehidratación de las rodajas de manzana deshidratadas. Las muestras se sumergieron en una solución formadora de recubrimiento (DFR) (6% p, p) añadiendo una solución de ácido cítrico y extracto acuoso de jengibre, perejil y epazote (1% p, p), como sustancias antioxidantes y se secaron (60°C, 1.3 m/s). Se midió el contenido fenólico total (CFT), el color y la capacidad de rehidratación de las muestras secas. Los parámetros de color CIELAB, L*, a*, b* y el índice de blancura (IB) se compararon antes y después del secado. Se analizaron las características de textura, crujibilidad, dureza y crocancia en las muestras secas. La velocidad de secado de las muestras sin tratamiento fue similar a la de las recubiertas con HPMC y extractos de plantas. El recubrimiento de HPMC no afectó la pérdida de agua durante el secado y favoreció una alta retención de CFT. El IB fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en las muestras con HPMC que en aquellas sin recubrimiento. Las muestras con recubrimientos de HPMC presentan crujibilidad, crocancia y dureza significativamente mayor ($p < 0.05$) que las muestras que no contienen HPMC. La combinación del recubrimiento de HPMC con los extractos no aumentó el contenido de fenoles y no mejoró la preservación de color en comparación con el único uso de HPMC o extractos. Las rodajas recubiertas con HPMC y ácido cítrico presentan mejores resultados en cuanto a color y contenido fenólico total.

ABSTRACT

Edible coatings, applied to food before convective drying, could preserve the sensory and nutritional properties of dehydrated products without affecting the drying rate. The effect of an edible coating of Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) with natural extracts was studied on the color change and antioxidant content of dehydrated apple slices. Samples were immersed in a coating forming solution (CFS) (6% p, p) adding a solution of citric acid and aqueous extract of ginger, parsley, and epazote (1% p, p) as antioxidant substances and dried (60 ° C, 1.3 m / s). The total phenolic content (TFC) and the color of the dried samples were measured. The CIELAB color parameters, L *, a *, b * and whiteness index (WI) were compared before and after drying. The textural characteristics, crunchiness, hardness and crispiness in dry samples were analyzed. The drying rate of samples without treatment was similar to those coated with HPMC and plant extracts. The HPMC coating did not affect the water loss during the drying and favored a high retention of TFC. The WI was significantly higher ($p < 0.05$) in the samples with HPMC than in those without coating. Samples with HPMC coatings show significantly higher ($p < 0.05$) crunchiness, hardness and crispiness than samples that do not contain HPMC. The combination of HPMC coating with the extracts did not increase the phenol content and did not improve color preservation, compared to the samples that have HPMC or extracts. The slices coated with HPMC and citric acid have better results in terms of color and total phenolic content.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 HIPÓTESIS	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 ANTECEDENTES	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 GENERALIDADES DE LA MANZANA	9
2.1.1 Propiedades	9
2.1.2 Composición.....	10
2.2 PLANTAS AROMÁTICAS	11
2.3 GENERALIDADES DEL JENGIBRE	11
2.3.1 Composición.....	12
2.4 GENERALIDADES DEL EPAZOTE.....	12
2.3.1 Composición.....	13
2.5 GENERALIDADES DEL PEREJIL	14
2.5.1 Propiedades	14
2.5.2 Composición.....	14
2.6 PÉRDIDA DE CALIDAD DE FRUTAS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL PROCESADO	15
2.6.1 Pardeamiento enzimático y no enzimático	16
2.7 SECADO POR CONVECCIÓN.....	17
2.8 ALIMENTOS DESHIDRATADOS	19
2.8.1 Cambios de las propiedades físicas en las frutas durante el deshidratado.....	20
2.9 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	21
2.9.1 Materiales empleados para la elaboración de películas y recubrimientos	22
2.9.2 Estructura de recubrimientos a base de polisacáridos	22
2.9.3 Hidroxipropil metilcelulosa.....	24
2.10 COLOR EN ALIMENTOS.....	25
2.11 TEXTURA	27
2.11.1 Compresión en los tejidos vegetales.....	29
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 MATERIA PRIMA	32
3.2 SELECCIÓN DE VEGETALES PARA EXTRACTOS COMO AGENTES ANTIOXIDANTES.....	32
3.3 EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES EN VEGETALES	33
3.3.1 Determinación de actividad antioxidante	34
3.5 SELECCIÓN DE POLÍMERO PARA LA DFR.....	35
3.5.1 Preparación de las disoluciones formadoras de recubrimiento.....	35

3.5.2 Evaluación de recubrimientos en el secado convectivo	36
3.5.3 Evaluación de agente antioxidante en DFR en secado convectivo.....	38
3.6 EVALUACIÓN DE HPMC CON AGENTE ANTIOXIDANTE.....	38
3.6.1 Densidad superficial de sólidos.....	39
3.6.2 Contenido de humedad y actividad de agua (a_w).....	39
3.6.3 Color.....	40
3.6.4 Determinación de contenido de fenoles totales	40
3.7 EVALUACIÓN DE DFR DE HPMC CON EXTRACTOS VEGETALES.....	41
3.7.1 Preparación de los extractos vegetales e incorporación a las DFR	41
3.7.2 Proceso de secado convectivo	42
3.7.3 Color.....	43
3.7.4 Contenido de fenoles totales.....	43
3.7.5 Análisis de textura.....	43
3.7.6 Rehidratación.....	44
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	45
4.1 SELECCIÓN DE VEGETALES PARA EXTRACTOS COMO AGENTES ANITOXIDANTES.....	45
4.2 EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ANTIOXIDANTES EN VEGETALES	46
4.3 SELECCIÓN DE POLÍMERO PARA LA DFR.....	48
4.4 EVALUACIÓN DE HPMC CON AGENTE ANTIOXIDANTE.....	51
4.4.2 Contenido de humedad y actividad de agua.....	52
4.4.3 Color.....	53
4.4.4 Contenido total de fenoles.....	54
4.5 EVALUACIÓN DE DFR DE HPMC CON EXTRACTOS VEGETALES.....	55
4.5.1 Cinéticas de secado	55
4.5.3 Contenido de fenoles totales.....	60
4.5.4 Textura.....	62
4.5.5 Rehidratación.....	63
CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN	65
REFERENCIAS	66
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición nutrimental de manzana. Valores por 100 g de porción comestible	11
Tabla 2	Composición química de compuestos hidrofílicos de epazote. Valores por 100 g de pesos seco	13
Tabla 3	Composición nutrimental de perejil. Valores por 100 g de porción comestible	15
Tabla 4	Definición de los parámetros mecánicos de textura	28
Tabla 5	Clasificación de las características mecánicas de textura.....	29
Tabla 6	Diseño metodológico para la obtención de extracto vegetal	34
Tabla 7	Concentraciones de los polímeros y plastificante en las diferentes DFR.....	36
Tabla 8	Concentración de polímero-antioxidante en DFR	38
Tabla 9	Concentraciones polímero y antioxidante en las DFR	39
Tabla 10	Diferencia de color (ΔE) de muestras con tratamiento respecto a la muestra inicial sin secar.	46
Tabla 11	Actividad antioxidante de extractos vegetales	47
Tabla 12	Densidad superficial de sólidos	51
Tabla 13	Contenido de humedad y actividad de agua de las muestras recubiertas y secas.....	53
Tabla 14	Evaluación de color en rodajas de manzana con recubrimiento antes y después del secado	54
Tabla 15	Contenido total de fenoles de rodajas de manzana después del secado convectivo	55
Tabla 16	Valores medios de la textura instrumental	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Reacción de pardeamiento enzimático (Carriel et al., 2014).....	16
Figura 2 Pardeamiento no enzimático (Carriel et al., 2014).....	17
Figura 3 Enlace intermolecular de hidrógeno formado durante la hidratación de las gomas (Milda Embuscado, 2009).....	23
Figura 4 Estructura molecular del HPMC (Milda Embuscado, 2009).....	24
Figura 5 Ilustración del espacio de color CIELAB.	27
Figura 6 Curva de compresión uniaxial de tejido vegetal (Chiralt et al., 2001).....	29
Figura 7 Diagrama de flujo metodológico del pretratamiento y recubrimientos de manzana deshidratada por convección	31
Figura 8 Rodajas de manzana con DFR.....	37
Figura 9 Rodajas de manzana en el interior del secador de gabinete.....	37
Figura 10 Túnel de secado para pruebas piloto.....	42
Figura 11 Efecto del polímero en el pardeamiento de manzana deshidratada.	49
Figura 12 Efecto del polímero con agente antioxidante en el pardeamiento de manzanas deshidratadas.	50
Figura 13 Curvas de secado para rodajas de manzana con diferentes pretratamientos.....	57
Figura 14 Curvas de rapidez de secado en función del contenido de humedad para rodajas de manzana con diferentes pretratamientos.....	59
Figura 15 Contenido de fenoles totales en rodajas de manzana deshidratadas con los diferentes pretratamientos.	61
Figura 16 Capacidad de rehidratación de rodajas de manzana con diferentes pretratamientos	64

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La manzana es una de las frutas más consumidas en el mundo por su alto contenido de nutrientes. Aporta carbohidratos, minerales, fibra dietética y compuestos fenólicos antioxidantes (Manzoor *et al.*, 2012). Se desarrolla una extensa variedad de productos para aprovechar sus beneficios, como purés, bebidas, postres y productos deshidratados (Cabrera, 2003). Recientemente, los consumidores prefieren productos naturales, duraderos y listos para comer, por lo que, las rodajas de manzana deshidratadas se presentan como una opción.

El secado convectivo es un importante método de conservación de alimentos. Prolonga la vida de anaquel de frutas y vegetales al reducir el contenido de humedad y actividad de agua. De esta manera, previene el crecimiento microbiano, disminuye la actividad enzimática y minimiza las reacciones de deterioro durante el almacenamiento (Geankoplis, 1998). En productos deshidratados se presentan daños fisiológicos desde las operaciones de corte en donde se estimula la actividad respiratoria y se presentan reacciones enzimáticas. La exposición de las muestras al oxígeno y a altas temperaturas, por un periodo de tiempo prolongado durante el secado, provoca la pérdida de nutrientes así como cambios de color y textura (Sturm, Nunez Vega y Hofacker, 2014). Una alternativa para preservar la calidad de los alimentos deshidratados son los pretratamientos ya que previenen la oxidación durante el secado.

Los recubrimientos comestibles se utilizan como pretratamiento para conservar la calidad de frutas deshidratadas (García *et al.*, 2014; Sturm, Nunez Vega y Hofacker, 2014; Canizares y Mauro, 2015; Silva *et al.*, 2015; Dehsheikh y Dinani, 2018). Aunque tradicionalmente se utilizan para reducir el deterioro de los alimentos mínimamente procesados, nuevos estudios sugieren que se pueden aplicar antes del secado convectivo para conservar las características de calidad de los alimentos, al disminuir los cambios de color, textura y pérdida de nutrientes (Canizares y Mauro, 2015). En las frutas frescas cortadas prolongan su vida de anaquel, reducen la pérdida de agua, la migración de solutos, respiración, intercambio de gases, reacciones de óxido reducción, entre otros (Perez *et al.*, 2005). La aplicación de los recubrimientos comestibles, antes del secado convectivo, es una técnica innovadora que proporciona una barrera selectiva de gases, esto permite la transferencia de vapor de agua, pero disminuye el contacto del oxígeno con el producto.

Los recubrimientos comestibles se pueden diseñar y formular para adaptarse al tipo de producto al que van destinados. Además, se pueden mejorar sus propiedades al agregar antioxidantes, antimicrobianos y reafirmantes de textura. En el caso de los antioxidantes, estos interrumpen las reacciones en cadena que producen el oscurecimiento de las frutas sometidas a secado por convección.

En el mercado existe un gran número de antioxidantes y antimicrobianos sintéticos para prolongar la estabilidad de los alimentos. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que estos compuestos pueden tener efectos nocivos en la salud del consumidor (Carriel *et al.*, 2014). La necesidad de encontrar opciones seguras para el consumidor fomenta la búsqueda de antioxidantes y antimicrobianos de fuentes naturales.

Estudios enfocados a la composición y propiedades químicas de diversos vegetales, especies y hierbas indican un alto potencial como fuente de antioxidantes naturales como terpenos, flavonoides, taninos y ácidos fenólicos. De acuerdo con estas propiedades, el extracto de estas plantas pueden ser una alternativa como tratamientos antioxidantes y antimicrobianos naturales, los cuales disminuirían los cambios presentes durante el proceso de secado y por lo tanto extenderán su vida de anaquel.

En esta investigación se evaluó el efecto de recubrimientos comestibles a base de Hidroxipropil Metil Celulosa, además se adicionó, como agente antioxidante, extractos acuosos de jengibre, perejil y epazote sobre rebanadas de manzana Red Delicious (*Malus Doméstica Borkh*) secadas por convección. El objetivo fue analizar el efecto de los recubrimientos sobre cambios de color, contenido de fenoles totales, actividad de agua, contenido de humedad, de textura y análisis de las curvas de secado de rodajas de manzana.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La manzana se considera una de las frutas más consumidas por su alto valor nutritivo, es la segunda fruta más cultivada en el mundo (Cebulj *et al.*, 2017). No obstante, si su cáscara se daña por golpe o corte, cambia su apariencia y composición. Estos daños la hacen poco atractiva al consumidor, lo que provoca su salida del mercado y, por ende, termina como merma. Para reducir las pérdidas postcosecha, se podría someter a un proceso de secado convectivo.

El secado aumenta la vida de anaquel de las frutas, como las manzanas y también le da valor agregado al producto. Durante este proceso se generan reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático, lo que provoca el oscurecimiento de las rebanadas de manzana. Este cambio de color es un problema porque los consumidores asocian el color del producto con el sabor, valor nutritivo, aroma, seguridad higiénica y satisfacción (Sturm, Nunez Vega y Hofacker, 2014).

Los cambios en la forma, la pérdida de volumen y el aumento de la dureza causan, en la mayoría de los casos, una impresión negativa en el consumidor. Por lo que, la textura es otro de los principales factores de calidad de productos deshidratados. Durante el proceso de secado se presentan cambios en la estructura de los tejidos. Estos cambios son causados por la pérdida de agua que va de la parte interna a la externa, esto podría causar rigidez, el deterioro o colapso de los tejidos celulares. Se relaciona con el contenido de humedad y depende directamente de los niveles de temperatura, humedad y velocidad de aire aplicados durante el proceso de secado (Sturm, Nunez Vega y Hofacker, 2014).

Existe la necesidad de conservar las frutas por su corta vida de anaquel y para ello se pueden someter al proceso de secado convectivo. Como se mencionó anteriormente, puede haber cambios físicos, químicos y organolépticos. Para evitar este tipo de daños, se aplican pretratamientos que muchas veces son a partir de componentes sintéticos. Para disminuir el uso de estos componentes, es conveniente utilizar recubrimientos comestibles basados en una matriz polimérica con extractos vegetales. Lo cual reemplazaría el uso de antioxidantes sintéticos, por el uso de antioxidantes provenientes de estos extractos vegetales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los consumidores están cambiando sus hábitos de alimentación. Prefieren productos saludables, poco procesados, pero al mismo tiempo que sean duraderos y listos para comer. Esto se debe a que no disponen de tiempo para preparar sus alimentos y dificulta el consumo de fruta fresca. En este sentido, el desarrollo de nuevos productos a base de fruta deshidratada, de alta calidad, con una vida útil razonable y atractiva para el consumidor, resulta interesante para ampliar y diversificar su disponibilidad en el mercado.

En el intento por producir alimentos deshidratados de calidad, sin cambios de color, los productores añadieran antioxidantes artificiales que prolongan la estabilidad de los alimentos. En años recientes, se demostró que ciertos compuestos provocan daños a la salud del consumidor (UNISON, 2012). Por ejemplo, los sulfitos inhiben el pardeamiento enzimático de forma efectiva. No obstante, provocan efectos adversos en la salud de algunas personas (Carriel *et al.*, 2014). Todo esto conduce a la búsqueda de alternativas de compuestos antioxidantes de fuentes naturales y económicas. Entre las alternativas se encuentran los extractos de plantas.

Los extractos de plantas pueden ser parte de recubrimientos comestibles. En general, el uso de recubrimientos evita la penetración de oxígeno y, por ende evita el pardeamiento (Yoruk y Marshall, 2003). Además, pueden transportar nutrientes, agentes antimicrobianos, agentes antioxidantes, mejoradores de textura, entre otros. Podrían actuar como barrera e impedir la pérdida de compuestos volátiles, los cuales le dan el sabor y olor a las manzanas. La alta porosidad de la manzana permite que el proceso de impregnación sea eficiente, ya que los poros del tejido quedan llenos de la solución con el o los compuestos fortificantes (Cortes y Chiralt, 2008). Los recubrimientos se proponen como una alternativa del uso de sustancias artificiales capaces de actuar como protectores durante el proceso de secado.

1.3 HIPÓTESIS

Los recubrimientos comestibles combinados con extractos vegetales disminuyen el oscurecimiento, la pérdida de compuestos fenólicos y el cambio de textura de rodajas de manzana secadas por convección, sin interferir con la pérdida de agua durante el proceso de secado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de recubrimientos comestibles combinados con extractos vegetales en el color, textura, contenido de fenoles totales de rodajas de manzana secadas por convección

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar la actividad antioxidante de extractos vegetales, el método óptimo de extracción y su efecto antipardeamiento como pretratamiento en el secado convectivo de rodajas de manzana.
- Evaluar disoluciones formadoras de recubrimiento (DFR) con diferentes polímeros, aplicarlos como pre-tratamiento y analizar su efecto sobre el color y adherencia a la rodaja de manzana después del secado convectivo
- Evaluar el efecto anti pardeamiento de ácido cítrico y extractos vegetales agregados a la DFR aplicadas en rodajas de manzana deshidratadas
- Determinar las propiedades fisicoquímicas (contenido de humedad, actividad de agua, contenido de fenoles totales y color) de las rodajas de manzana recubiertas después del secado
- Estudiar la cinética de deshidratación de rodajas de manzana y la influencia de los diferentes pre-tratamientos de secado
- Analizar el efecto de los diferentes pre-tratamientos sobre los parámetros de textura, dureza, crujibilidad y crocancia de las rodajas de manzana y análisis de cinética de rehidratación del producto

1.5 ANTECEDENTES

Las frutas son uno de los alimentos más recomendados por su alto valor nutritivo. Sin embargo, su tiempo de vida es corto, está en función de su actividad metabólica, el ataque microbiano y aspectos relacionados con su manipulación. Esto genera un gran número de investigaciones sobre conservación y calidad de frutas. La combinación de estos métodos es una estrategia creciente para preservar la calidad.

En cuanto a conservación de la estructura de las frutas, Schultz *et al.* (2007) estudiaron la influencia de diferentes condiciones de operación de secado (temperatura y velocidad de aire) asociados con pretratamientos de soluciones de almidón en rebanadas de manzana. La adición de almidón agrega resistencia externa al secado, pues se observan tiempos de secado más largos en comparación con los que no tenían pretratamiento. Con el fin de comprender la contracción, que se da en la fruta durante el proceso de secado, observaron los cambios de la densidad aparente del producto. Obtuvieron valores bajos de densidad aparente, lo cual se explica por la formación de una capa externa rígida al comienzo del proceso.

Cortes y Chiralt (2008) analizaron la evolución de color en productos de manzana fortificados con vitamina E y deshidratados por convección a 40°C. Analizaron la cinética de cambios de color durante 180 días y temperatura de almacenamiento de 4, 20 y 30°C. Ellos afirman que el desarrollo de productos de manzana fortificada es interesante por la gran porosidad de la fruta, la cual permite una alta impregnación de la solución del compuesto fortificante. Los resultados mostraron que las manzanas deshidratadas y fortificadas con vitamina E que fueron almacenadas a 4°C presentaron un color aceptable 180 días después. En cambio, las almacenadas a 20 y 30°C presentaron pardeamiento a los 30 días.

García *et al.* (2014) investigó una nueva tecnología con potencial de mejorar la calidad física y nutritiva de alimentos deshidratados. Así como, los efectos de recubrimientos de pectina utilizados como pretratamientos sobre la eficiencia de secado, color y degradación de vitamina C en rebanadas de papaya. También, evaluaron las modificaciones en la estructura celular de las rebanadas recubiertas y no recubiertas. Ellos concluyen que los recubrimientos no afectan la eficiencia del proceso de secado y que los alimentos recubiertos y secos conservan su calidad

nutricional. Los resultados mostraron que esta tecnología es una alternativa que mejora la calidad de alimentos deshidratados.

En otro estudio (Silva *et al.*, 2015) se investigó la influencia de dos diferentes recubrimientos comestibles sobre la actividad de agua, cambios de color, y retención de vitamina C durante el secado convectivo de piña que previamente se deshidrató osmóticamente. También los efectos de los recubrimientos en la cinética de secado convectivo, la efectividad de la difusividad de humedad de las piñas osmóticamente deshidratadas y recubiertas. Los resultados mostraron que los recubrimientos comestibles tienen gran potencial para ser usados para proveer protección a los compuestos biológicamente activos durante el proceso de secado.

Se revisaron investigaciones previas para seleccionar los polímeros que podrían funcionar como recubrimientos y evitar el pardeamiento de rodajas de manzana durante el secado convectivo. Con base en pruebas realizadas en frutas mínimamente procesadas se seleccionaron los polímeros para las disoluciones formadoras de recubrimiento.

En su investigación, Bonilla *et al.* (2012) revisa los últimos estudios sobre la efectividad y la aplicación de películas y recubrimientos antioxidantes. Algunos de los polímeros que se mencionan son: proteína de suero lácteo, alginato, goma gellan, metilcelulosa, hidroxipropil metilcelulosa y quitosano. A los cuales se les puede incluir agentes antioxidantes en su formulación y, al mismo tiempo, representan una barrera al oxígeno, lo que resulta en una mejor preservación de la calidad.

Perez *et al.*, (2005) compararon la efectividad de hidroxipropil metil celulosa y proteína de suero sin la incorporación de agentes anti pardeamiento durante siete días. Los recubrimientos a base de proteína de suero fueron más efectivos, probablemente al efecto antioxidante de los aminoácidos. Los resultados sugieren que la adición de agentes anti oscurecimiento en combinación con condiciones de almacenamiento adecuadas podrían extender significativamente la vida útil de las manzanas recién cortadas. Pastor *et al.* (2013) estudió la efectividad de recubrimientos y películas a base de hidroxipropil metil celulosa y metil celulosa.

Ganiari *et al.*, (2017) analizaron investigaciones de películas y recubrimientos comestibles activos que contienen antioxidantes naturales. Señalan que las películas con antioxidantes naturales aumentan el contenido fenólico y la actividad antirradical, mejora las propiedades de barrera a

través de interacciones con los grupos activos. La interacción entre los agentes activos agregados y los materiales formadores de película pueden afectar las propiedades mecánicas y estructurales de las películas resultantes. Puede llevar un efecto positivo o negativo dependiendo de la naturaleza del compuesto activo y de los biopolímeros utilizados como matrices (Benbettaïeb, Karbowski y Debeaufort, 2017).

En relación con la interacción entre los agentes activos agregados y los materiales formadores de película, Akhtar *et al.*, (2012) demostró que los extractos de plantas pueden funcionalizar películas comestibles de hidroxipropil metilcelulosa. Sus resultados sugirieron interacciones a través de enlaces de hidrógeno entre componentes, interacciones de los grupos OH de los compuestos con los grupos OH celulósicos. Los resultados señalan que las películas tienen un buen potencial para aplicaciones alimentarias debido a su color, propiedades plastificantes, buena estabilidad antioxidante y capacidad de proteger el HPMC de la fotodegradación. Sin embargo, señalan que se necesitan más estudios enfocados a analizar las interacciones entre los agentes activos y el material formador de películas y recubrimientos comestibles.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan las bases teóricas de la investigación. Se describe la materia prima utilizada, manzana, jengibre, epazote y perejil. Se exponen las definiciones de secado convectivo, recubrimiento comestible y características de calidad de los alimentos deshidratados. También, se presenta información de las propiedades que debe reunir un recubrimiento y como actúa al ser aplicado como pretratamiento en el proceso de secado convectivo.

2.1 GENERALIDADES DE LA MANZANA

La manzana es una fruta muy consumida en todo el mundo. Aporta carbohidratos, minerales, fibra dietética y compuestos fenólicos antioxidantes (Manzoor *et al.*, 2012)(Tabla 1). Se cosecha en todos los continentes en áreas templadas del hemisferio norte y sur. Representa el cuarto lugar entre los cultivos de frutas en todo el mundo con 56 millones de toneladas al año (Campeanu, Neata y Darjanschi, 2009).

La manzana se produce por el manzano, un árbol perteneciente a la familia *Rosaceae*. La manzana se agrupa dentro del género *Malus* y subfamilia *Maloideae* (*Pomoideae*), en la cual se han reconocido hasta 78 especies primarias. Las especies consideradas como manzanas son: *Malus communis*, *Malus doméstica*, *Malus pumila* y *Malus sylvestrus*. El fruto es un pomo que tiene un ovario ínfero con endocarpio lignificado, es una fusión entre ovario y receptáculo, las semillas nacen en cinco carpelos formados de tejidos del mesocarpio y receptáculo. El fruto es oblongo, cónico u oblicuo, con diámetro de entre 2 a 13 cm. Presenta varias tonalidades entre verde, amarillo y rojo (Cárdenas y Fischer, 2013).

2.1.1 Propiedades

Estudios recientes revelan que el consumo de manzana y jugo de manzana pueden proporcionar beneficios antiproliferativos, anticarcinogénicos y antiinflamatorios. Se asocia con una menor incidencia de cáncer de pulmón, enfermedades virales y trastornos cardiovasculares. Por su contenido de fibra regula enfermedades del intestino grueso como estreñimiento y diarrea. Además la fibra soluble tiene actividad hipocolesterolémica (Ministerio de Agricultura, 2013). Se valora la cáscara de manzana por sus funciones medicinales, ya que es una fuente rica en fenoles y fibra dietética (Manzoor *et al.*, 2012).

2.1.2 Composición

Campeanu *et al.* y Wu *et al.* (2009,2007) estudiaron la composición de las manzanas y llegaron a los siguientes resultados. El contenido de nutrientes en manzanas difiere según las condiciones climáticas, variedad, madurez, tecnología de cultivo, posición y exposición de los frutos al sol. Estos factores están relacionados con las cualidades sensoriales de las frutas. El contenido de azúcar reportado varía entre 9.53 y 12.34%. Se identificó a la fructosa y glucosa como los principales monosacáridos. Se cuantificó el contenido promedio de fructosa en 53.9 g/l, de glucosa 33.8 g/l y de sacarosa 24.0 g/l.

Los ácidos orgánicos son un componente importante del sabor de la fruta y, junto con los azúcares y aromas solubles, contribuyen a la calidad organoléptica general de las manzanas frescas. La acidez total registrada muestra valores de entre 0.127 y 0.345%. Se cuantificaron los ácidos: tartárico, quínico, málico, shikímico, cítrico y ácido succínico. El contenido promedio de cada uno fue de 0.020, 0.21, 4.61, 0.01, 0.065, 0.064 mg/l respectivamente. El ácido orgánico predominante fue el ácido málico con 4.61 mg/l.

El contenido de Vitamina C varía entre 7.19 y 7.89 mg/100g fruta fresca. La vitamina C está presente en dos formas en manzanas: ácido ascórbico y su forma oxidada, ácido dehidroascórbico. Los ácidos grasos dominantes son el palmítico y el linoleico, que constituyen el 70-80% de los ácidos grasos totales de la fruta. Los principales aminoácidos fueron la alanina, el aspartato, la serina y la glutamina (Wu *et al.*, 2007; Campeanu, Neata y Darjanschi, 2009).

Los compuestos fenólicos más importantes en la manzana son epicatequina, catequina, ácido clorogénico y cafeico. El predominante es el ácido clorogénico. Las bajas concentraciones de fenoles protegen a la manzana del deterioro oxidativo, mientras que las altas concentraciones pueden causar la decoloración de la fruta. El pardeamiento de la manzana depende de las concentraciones relativas de diferentes grupos de compuestos fenólicos (Wu *et al.*, 2007).

Tabla 1 Composición nutricional de manzana. Valores por 100 g de porción comestible

Nutriente	Composición	Nutriente	Composición	Nutriente	Composición
Energía (Kcal)	53	Yodo (μg)	2	Riboflavina (mg)	0.02
Proteínas (g)	0.3	Magnesio (mg)	5	Equivalentes niacina (mg)	0.2
Lípidos totales (g)	Tr	Zinc (mg)	0.1	Vitamina B12 (μg)	0
Hidratos de carbono (g)	12	Sodio (mg)	2	Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	4
Fibra (g)	2	Potasio (mg)	120	Vitamina C (mg)	10
Agua (g)	85.7	Fósforo (mg)	8	Vitamina D (μg)	0
Calcio (mg)	6	Selenio (μg)	Tr	Vitamina E (mg)	0.2
Hierro (mg)	0.4	Tiamina (mg)	0.04		

Nota: Tomada de Moreira et al. (2013) Tr: trazas. 0: Virtualmente ausente en el alimento

2.2 PLANTAS AROMÁTICAS

Las hierbas aromáticas se cultivan de manera cotidiana en campos o patios de las casas por su diversidad de aplicaciones. Se agregan como condimento en los alimentos, ya que poseen características que realzan los sabores y aromas. Algunas plantas son utilizadas en la medicina tradicional por su gran potencial terapéutico. Ellas son fuente de compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes, como polifenoles; vitaminas, carotenoides, grasas insaturadas y azúcares (Barros *et al.*, 2013). Los antioxidantes naturales obtenidos de hierbas son por ejemplo, diterpenos fenólicos, flavonoides, taninos y ácidos fenólicos (Villalobos *et al.*, 2017).

2.3 GENERALIDADES DEL JENGIBRE

Planta herbácea cuyo rizoma es perenne, nudoso, tuberoso, con una corteza de color ceniciento y rugosidades transversas, de sabor picante e intensamente aromático. Del rizoma surgen los falsos tallos, de color rojizo, erectos, oblicuos, redondos y anuales, envueltos por las hojas y que pueden alcanzar hasta 1 m de altura. Las hojas brotan del rizoma y desprenden un agradable aroma; son subsésiles, alternas, lanceoladas, estrechas, lineales y agudas, de 6-10 cm de longitud y 2 cm de ancho. Las inflorescencias son terminales y nacen del tallo floral, que es radical y solitario. Las

flores, irregulares, fragantes, pequeñas y de color amarillo verdoso, se agrupan en espigas. El fruto es una cápsula (Herráiz, 2009).

2.3.1 Composición

El rizoma de jengibre contiene 60-70% de carbohidratos, 3-8% de fibra cruda, 9% de proteína, 8% de ceniza, 3-6% de ácidos grasos y 2-3% de aceites volátiles. El sabor característico del jengibre se debe a zingerona, shogaoles, gingeroles y aceites esenciales que comprenden hasta 3% de jengibre en peso fresco. El aceite esencial fragante volátil del jengibre contiene principalmente sesquiterpenoides, con α -zingibereno (30-70%) como componente principal, cantidades más pequeñas de otros sesquiterpenoides: β -sesquiphellandreno (15-20%), β -bisaboleno (10-15%), y α -farneseno, y monoterpenoides (β -felandreno, canfeno, cineol, geraniol, citral, etc.). El jengibre también contiene diterpenos y glicolípidos de jengibre. La acritud del rizoma de jengibre fresco se debe a los gingeroles, el principal es [6]-gingerol (1-[40-hidroxi-30-metoxifenil]-5-hidroxi-3-decanona), un líquido oleoso y el constituyente más abundante entre los gingeroles. La acritud del jengibre seco o cocido se debe a compuestos derivados de fenilpropanoides no volátiles de gingeroles, concretamente, shogaoles. La zingerona menos picante también se produce a partir de gingeroles durante el proceso de secado; que tiene un aroma picante dulce. El jengibre también contiene sustancias resinosas acre (5-8%) (Srinivasan, 2017).

2.4 GENERALIDADES DEL EPAZOTE

Chenopodium ambrosioides L., familia Chenopodiace, conocida popularmente como “paico”, “pazote” o “wormseed”. Es una hierba fuertemente aromática que originalmente crecía en zonas tropicales de América (Soares *et al.*, 2017). Actualmente se distribuye en las zonas de clima tropical en todo el mundo (Song *et al.*, 2015). En México se conoce como Epazote del Náhuatl epatl, hierba fétida y tzotl, dulce, en relación al olor penetrante (Gómez, 2008). En cuanto a su apariencia se describe como una planta aromática, perenne, más o menos pubescente, con el tallo usualmente postrado, olor fuerte, de aproximadamente 40 cm de altura; las hojas son oblongo-lanceoladas y serradas, de entre 4 cm de longitud y 1 cm de ancho, con pequeñas flores verdes en panículos terminales densos, cada uno con cinco sépalos; el cáliz persistente circunda al fruto, y las semillas son negras y no mayores a 0.8 mm de longitud (Gómez, 2008).

El epazote ha tenido diversas aplicaciones farmacológicas, contra resfriado, influenza, enfermedades respiratorias, enfermedades gastrointestinales, vómito, antihelmíntico, antiinflamatorio y enfermedades de la piel (Barros *et al.*, 2013). En otras partes del mundo, se ha utilizado para tratar dolor de reumatismo, anquilosomas, ascariasis, dismenorrea, amenorrea, eccema y enfermedades producidas por picaduras de insectos y serpientes. En China lo utilizan en el tratamiento de úlceras gastrointestinal y duodenal (Song *et al.*, 2015).

2.3.1 Composición

Barros *et al.* (2013) realizaron un análisis de la composición química de *Chenopodium ambrosioides*, en el cual encontraron azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. Los principales azúcares encontrados fueron: sacarosa, fructosa, glucosa y trehalosa. En cuanto a los ácidos orgánicos fueron identificados y cuantificados los siguientes: oxálico, quínico, málico, ascórbico, cítrico y fumárico. Se detectaron treinta y cinco compuestos fenólicos. Los principales azúcares, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Composición química de compuestos hidrofílicos de epazote. Valores por 100 g de pesos seco

Azúcares libres	Composición	Ácidos orgánicos	Composición
Fructosa (g)	0.24 ± 0.01	Ácido oxálico (g)	5.64 ± 0.30
Glucosa (g)	0.46 ± 0.01	Ácido quínico (g)	0.97 ± 0.14
Sacarosa (g)	1.43 ± 0.12	Ácido málico (g)	0.67 ± 0.06
Trehalosa (g)	0.91 ± 0.03	Ácido ascórbico (g)	0.02 ± 0.00
		Ácido cítrico (g)	0.26 ± 0.01
		Ácido fumárico (g)	0.02 ± 0.00
Compuestos fenólicos		Composición	
Kaempferon O-pentosyl-rhamnosyl-hexoside (mg)		31.42 ± 1.36	
Daempferon O-rhamnosyl-glucoronide (mg)		56.08 ± 0.35	
Quercetin drhamnoside (mg)		56.63 ± 0.35	
Kaempferon dirhamnoside-O-pentoside (mg)		95.89 ± 1.64	
Quercetin-3-O-rutinoside (mg)		204.95 ± 6.39	
Ácidos fenólicos (mg)		54.07 ± 1.55	
Flavonoides (mg)		768.27 ± 10.70	
Compuestos fenólicos (mg)		822.33 ± 12.25	

Nota: Tomado de Barros *et al.* (2013)

Los flavonoides fueron los compuestos fenólicos más abundantes en esta muestra (768 mg/100g ps), quercetina (46.98%) y derivados de kaempferol (45.91%). Este estudio (Barros *et al.*, 2013)

también muestra los resultados de compuestos lipofílicos. 26 ácidos grasos fueron identificados y cuantificados. α -Linoleico (48.54%) y linoleico (19.23%). En cuanto a los tocoferoles, el α -Tocopherol fue, por mucho, el más abundante (98.53%).

2.5 GENERALIDADES DEL PEREJIL

El perejil, *Petroselinum sativum*, planta originaria de la zona mediterránea, es una umbelífera bianual que se cultiva por sus hojas. Las semillas germinan con dificultad. Los tallos son, generalmente, erguidos. Las hojas, largamente pecioladas en la mayor parte de las variedades, son lisas o rizadas, muy divididas y aromáticas. Las flores son de color blanco verdoso. Al segundo año emite un tallo floral terminado en umbrella. La inflorescencia tiene de 8 a 12 radios primarios, las flores tienen alrededor de 2 mm de longitud. El fruto es un diaquenio que se emplea como semilla, de 3-4 mm de diámetro, ovoide, comprimido y provisto de cinco costillas, siendo aromático también; su poder germinativo suele durar 2 años. Tiene raíces profundas. El nombre genérico viene del griego petrol (piedra o roca), que responde al hecho de que crece bien sobre suelos rocosos; selinum (apio), el cual es una hierba u hortaliza comestible (*Petroselinum*, apio de las piedras); y sativum (adaptado para ser cultivado). Existen tres variedades: la variedad crispum (rizado), que es nuestro perejil de huerto o perejil rizado; el perejil griego, italiano, continental o de hoja plana; y por último, el perejil tuberoso o perejil de Hamburgo, que se cultiva por su deliciosa raíz (Moreiras *et al.*, 2013)

2.5.1 Propiedades

En la medicina popular el perejil se ha utilizado por sus propiedades laxantes, atribuibles a la presencia de algunos aceites volátiles que están más concentrados en las semillas que en tallos u hojas. Algunos científicos informan el uso de semillas de perejil en la preparación de laxantes y tés adelgazantes; también es usado como un remedio popular para disminuir la glucosa en la sangre, y se ha demostrado su efectividad en el tratamiento de los trastornos gastrointestinales mediante estudios con ratas (Munguia, Cuevas y Martinez, 2012).

2.5.2 Composición

Se ha reportado que los componentes característicos del perejil son flavonoides, aceite esencial, cumarinas, así como vitaminas B₆, C y E, mencionando además que es la fuente más rica en

vitamina A. Contiene calcio, hierro, fósforo y azufre, además una alta concentración de ácido petroselínico (isómero del ácido oleico), furanocumarinas, oleorresinas, proteínas, carbohidratos y taninos. Otro compuesto presente en el perejil en cantidades moderadas es el ácido oxálico (Munguia, Cuevas y Martinez, 2012). En la Tabla 3 se presenta la composición nutrimental del perejil.

Tabla 3 *Composición nutrimental de perejil. Valores por 100 g de porción comestible*

Nutriente	Composición	Nutriente	Composición
Energía (Kcal)	45	Sodio (mg)	33
Proteínas (g)	3	Potasio (mg)	760
Lípidos totales (g)	1.3	Fósforo (mg)	64
Hidratos de carbono (g)	2.7	Selenio (µg)	1.4
Fibra (g)	5	Tiamina (mg)	0.23
Agua (g)	88	Riboflavina (mg)	0.05
Calcio (mg)	200	Equivalentes niacina (mg)	1.5
Hierro (mg)	7.7	Vitamina B6 (mg)	0.09
Yodo (µg)	-	Vitamina C (mg)	190
Magnesio (mg)	23	Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	673
Zinc (mg)	0.7	Vitamina E (mg)	1.7

Nota: Tomado de. Moreiras et al. (2013) (PEREJIL). Tr: trazas, -: Dato no disponible

2.6 PÉRDIDA DE CALIDAD DE FRUTAS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DEL PROCESADO

Los productos derivados de la manzana se desarrollan a partir de técnicas de conservación que los estabilizan y alargan su vida útil. Sin embargo, cuanto mayor es el grado de procesado, produce un mayor impacto fisiológico. Se presentan daños en los tejidos desde las operaciones de corte o pelado, en donde se estimula la actividad respiratoria y la producción de etileno. El corte de los tejidos vegetales provoca la descompartimentación celular, que permite la entrada en contacto de enzimas de localización citoplasmática con substratos de localización vacuolar. Se produce una pérdida de jugos celulares lo que incrementa la actividad de agua y el área de superficie por unidad de volumen. Esto lleva a la biosíntesis de enzimas asociadas a un incremento en la velocidad de los procesos metabólicos y de otras reacciones bioquímicas responsables del cambio de color, aroma, textura y valor nutritivo (Cabrera, 2003).

Los compuestos naturales que son responsables del color característico de los alimentos pueden ser: carotenos, antocianos, clorofilas y compuestos fenólicos. Algunas de las causas por las que las frutas procesadas se alteran son las siguientes:

- Oxidación de compuestos fenólicos catalizada por la enzima polifenol oxidasa
- Conversión de clorofilas en feofitinas por acidificación
- Modificación de antocianos por oxidación y acidificación del medio
- Acidificación o tratamientos térmicos de carotenos

2.6.1 Pardeamiento enzimático y no enzimático

Las reacciones de oxidación que provocan el pardeamiento de frutos y vegetales son de origen enzimático y están catalizadas principalmente por la enzima Polifenol oxidasa (PPO). Las polifenol oxidasas son enzimas ubicuas que catalizan la reacción dependiente de oxígeno que transforma o-difenoles en o-quinonas (Figura 1). Estas quinonas son reactivas y capaces de modificar covalentemente un amplio abanico de especies nucleófilas, del interior de las células, que conduce a la formación de polímeros marrones, conocido como pardeamiento enzimático.

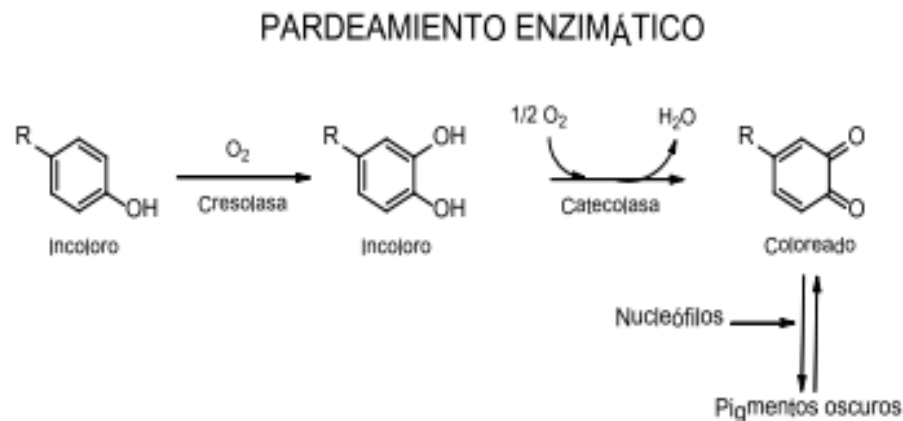


Figura 1 Reacción de pardeamiento enzimático (Carriel et al., 2014)

El pardeamiento enzimático produce cambios importantes tanto en la apariencia (colores oscuros) como en las propiedades organolépticas (sabor, textura) de vegetales comestibles y además suele ir asociado al desprendimiento de olores y efectos negativos sobre el valor nutricional. La actividad de la PPO es particularmente alta en frutos con altos niveles de compuestos fenólicos. La

composición de fenoles en los tejidos vegetales varía considerablemente según la especie, grado de madurez y manejo postcosecha de los frutos.

El pardeamiento no enzimático (Figura 2) consiste en la condensación de un grupo aldehído o cetona de un azúcar con un grupo amino libre para formar una cetamina estable (producto de Amadori) y finalmente se degradan a productos reactivos que contienen grupos carbonilo. Estos grupos pueden reaccionar con grupos amino dando lugar a polímeros oscuros. Esta reacción que tiene lugar al calentar mezclas de aminoácidos y carbohidratos se ha descrito en uva (Walker y Mckersie, 1993) y manzana (Carriel et al., 2014).

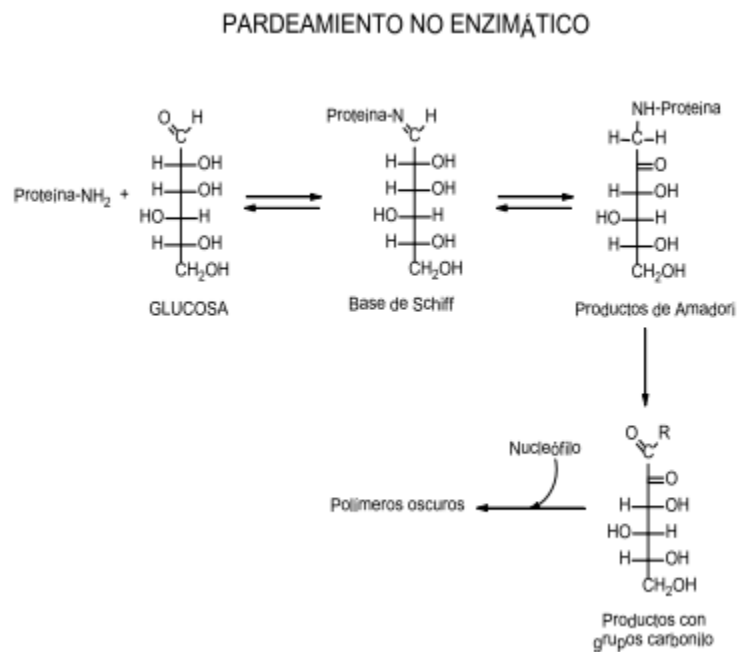


Figura 2 Pardeamiento no enzimático (Carriel et al., 2014)

2.7 SECADO POR CONVECCIÓN

Durante el proceso de secado, se elimina agua en forma de vapor de los materiales sólidos. El secado de alimentos se utiliza como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no

pueden funcionar sin agua. Los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos (Geankoplis, 1998).

Uno de los métodos de secado es el secado por convección. Generalmente se utiliza para secar alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente, el cual fluye sobre la superficie del sólido. Durante la deshidratación tiene lugar un transporte simultáneo de calor y materia. En los secadores convectivos el calor se transfiere al alimento mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua, es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del alimento (Fito *et al.*, 2001). El calor penetra hacia el interior del alimento a través de la superficie principalmente por conducción, mientras que la humedad debe salir a través de ella, por lo que el gradiente de temperatura es contrario al gradiente de humedad (Astigarra *et al.*, 1995).

El gradiente de temperatura es la fuerza impulsora para el calentamiento. Para la transferencia de materia, la fuerza impulsora es el gradiente de concentración de agua existente entre el interior y la superficie seca. Se produce secado cuando el interior ha alcanzado suficiente temperatura para que nuevamente emigre la humedad hacia la superficie, y finalmente, al exterior (Contreras, 2010).

Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación se puede considerar como un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa), pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según la fase a través de la cual se produce el transporte y según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua. Sin embargo, los mecanismos de transferencia más importantes en el interior del sólido son la difusión de agua en forma vapor o en fase líquida y la capilaridad. En los procesos de secado por aire caliente se observan normalmente los siguientes periodos de secado (Contreras, 2010):

- Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente: en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. La duración de este periodo es función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etcétera, pero a fines de cálculo se prescinde de él ya que considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario y suele ser de corta duración.

- Periodo de velocidad de secado constante: la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es igual que la velocidad con que llega a ella desde el interior de este. De esta manera la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura de la interfase permanece constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido.
- Periodo de velocidad de secado decreciente: la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Cuando la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido de humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continua produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada.

2.8 ALIMENTOS DESHIDRATADOS

El agua es fundamental para la vida. Es el principal constituyente de todos los tejidos vivos. El agua se encuentra hasta en un 96% en los alimentos, como en algunas frutas, en donde, es un factor de frescura (Badui, 2006). Sin embargo, es uno de los peores enemigos de la conservación en los alimentos, ya que los microorganismos patógenos se sirven de ella para poder reproducirse, vivir y, por consiguiente, contaminar el alimento.

Las frutas tienen un alto contenido de compuestos bioactivos. Su consumo ha incrementado en el mundo debido a que las personas están mejorando sus hábitos alimenticios. Dado su carácter perecedero y estacional, se desarrollan procesos que permiten la conservación óptima durante largos periodos de tiempo. Entre tales procesos uno de los más utilizados es el secado. El proceso de secado óptimo se produce la eliminación casi completa del agua, con apenas cambios en las propiedades del alimento. Además, el producto rehidratado final tiene propiedades organolépticas similares a las del producto original. La disminución en el contenido de humedad durante el proceso de secado trae consigo la inhibición del crecimiento de microorganismos responsables del deterioro

del alimento. Los costos derivados del transporte, almacenamiento y envasado disminuyen por la reducción en peso y volumen del alimento (Mejía et al. 2008).

2.8.1 Cambios de las propiedades físicas en las frutas durante el deshidratado

La deshidratación con aire caliente da lugar a varios cambios en la estructura y las propiedades químicas de las frutas y verduras, debido a los procesos térmicos y mecánicos a los que son sometidas. De igual forma, al cambiar la actividad de agua provoca un cambio en el comportamiento de las reacciones oxidativas, enzimáticas, no enzimáticas, de oscurecimiento, entre otras. Así mismo, la deshidratación causa cambios en las propiedades físicas como colapso, apelmazamiento y cambios en la densidad y viscosidad del producto (Maltini *et al.*, 2003).

La ruptura y degradación de la lámina media, la separación y ruptura de las paredes celulares, la lisis del citoplasma, la pérdida de la funcionalidad de la membrana y el colapso estructural de las células, pueden ocasionar cambios fisicoquímicos tales como la cristalización de la celulosa, despolimerización y solubilización de pectinas, desnaturalización de proteínas, cambios en los sólidos solubles y en la capacidad de rehidratación, encogimiento, así como cambios en las propiedades mecánicas relacionadas con la textura (Moroga, 2002; Crapiste, 2000).

Las propiedades físicas son las más afectadas en los procesos de deshidratación con aire caliente, debido a los prolongados periodos de exposición de la muestra y al uso de altas temperaturas. El color es una de las propiedades más importantes en las frutas y verduras, ya que es el primer atributo de calidad evaluado por los consumidores, además de ser el parámetro utilizado para determinar la vida útil de las frutas y verduras deshidratadas. Para evaluar los cambios de color causados por efectos de oscurecimiento en frutas y verduras deshidratadas se mide la disminución de la luminosidad, así como los cambios de cromaticidad en la escala de Hunter. Las reacciones no enzimáticas asociadas con la pérdida de color en las frutas y verduras deshidratadas básicamente son las reacciones de Maillard. Otros factores que afectan el color durante el secado son: las reacciones de oxidación como la conversión de polifenoles en policarbonilos, la degradación oxidativa del ácido ascórbico y, la degradación de pigmentos como los carotenoides, clorofila, antocianinas y betalaínas.

Los recubrimientos comestibles pueden usarse como pretratamiento para el proceso de secado ya que el recubrimiento puede proteger contra la oxidación de compuestos biológicamente activos, actuando como una barrera al oxígeno (Garcia *et al.*, 2014)

2.9 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Cuando se habla de películas y recubrimientos comestibles, se hace referencia a una capa delgada que cubre la superficie de un alimento y que se puede consumir como parte de este. La diferencia radica en que el recubrimiento se aplica sobre el producto y forma una capa superficial al secarse; mientras que la película se refiere a una capa preformada que se aplica después al producto.

“Según la Food and Drug Administration (FDA, 2006), los recubrimientos comestibles son aquellos formados a partir de formulaciones que contengan aditivos permitidos para su uso alimentario. Entre esos aditivos alimentarios, la Directiva 95/2/CE (1995) y la 98/72/CE (1998) incluyen los siguientes: goma arábica, goma xantana, glicerina, pectinas, celulosa y sus derivados (metilcelulosa, hidroxipropil celulosa, Hidroxipropil metilcelulosa, etc.), lecitina, polisorbatos, ácidos grasos y sales de ácidos grasos” (Pastor, 2010).

La función de las películas o recubrimientos es mantener la calidad de los productos retrasando las principales causas que deterioran los alimentos. Entre las principales causas se encuentran la pérdida o ganancia de humedad, los cambios químicos que afectan las propiedades sensoriales, el intercambio de gases y el ataque microbiano. Para disminuir estos daños, los recubrimientos deben cumplir ciertas características. Pastor (2010) menciona las siguientes:

- Propiedades sensoriales: deben ser transparentes, no otorgar sabor y olor diferente al alimento y no ser detectados durante su consumo.
- Propiedades de barrera: presentar una adecuada permeabilidad al vapor de agua y solutos; así como, una permeabilidad selectiva a gases y volátiles.
- Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Las materias primas y la producción del recubrimiento deben ser de bajo costo.

2.9.1 Materiales empleados para la elaboración de películas y recubrimientos

Las películas y recubrimientos se han clasificado con base en el material estructural, pueden formarse a partir de lípidos, polisacáridos, proteínas, o mezcla de estos. Los polisacáridos son hidrocoloides que forman recubrimientos con buenas propiedades de barrera a los gases (oxígeno y dióxido de carbono), pero no impiden suficientemente la transmisión de vapor de agua, además, pueden adherirse a la superficie de las frutas (Bravo, 2016).

Entre los polisacáridos de uso más extendido en la formulación de recubrimientos comestibles se encuentran los derivados de la celulosa. Debido a la disposición de los grupos hidroximetil en la cadena polimérica, la celulosa presenta una estructura cristalina que impide su solubilidad en sistemas acuosos. Sin embargo, su solubilidad puede ser aumentada mediante la inclusión de grupos funcionales en la cadena a través de reacciones de esterificación, interfiriendo la formación de la estructura cristalina. Cuando se trata la celulosa con álcali, seguido de ácido cloroacético, cloruro de metilo u óxido de propileno se obtiene carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa (MC) e hidroxipropil metil celulosa (HPMC), respectivamente. El aumento de la solubilidad de estos compuestos ha impulsado el desarrollo de recubrimientos comestibles (Bravo, 2016).

2.9.2 Estructura de recubrimientos a base de polisacáridos

Embuscado (2009) explican el comportamiento de las gomas de la siguiente manera: Las gomas de polisacáridos son hidrocoloides de peso molecular considerable y son solubles en agua. Se disuelven y forman enlaces de hidrógeno intensos con agua. Debido al tamaño y la configuración de sus moléculas, estos polisacáridos tienen la capacidad de espesar y / o gelificar soluciones acuosas como resultado de ambos enlaces de hidrógeno entre las cadenas de polímero y la fricción intermolecular cuando se someten al corte. Las gomas se disuelven en agua a través de la formación de enlaces hidrógeno-polímero-solvente; en solución, las moléculas de polímero pueden organizarse en una estructura ordenada, llamada micela que se estabiliza o fortalece mediante enlaces de hidrógeno intermoleculares (Figura 3).

La micela atrapa e inmoviliza el agua y, dependiendo de la extensión de la asociación intermolecular, el agua se espesa, según lo medido por la viscosidad, o se convierte en un gel que posee características de tipo líquido y sólido o viscoelasticidad. Cuando las soluciones de goma se

moldean sobre una superficie y se secan, dejan una película que posee características específicas de plasticidad, resistencia a la tracción, claridad y solubilidad. La formación de micelas confiere a las gomas su capacidad para formar películas porque estas estructuras se conservan durante el secado. Los atributos de las películas hechas de varias gomas están influenciados por el grado de enlaces de hidrógeno intermoleculares entre las cadenas de polímero, que surgen de las diferencias en las estructuras moleculares de la goma.

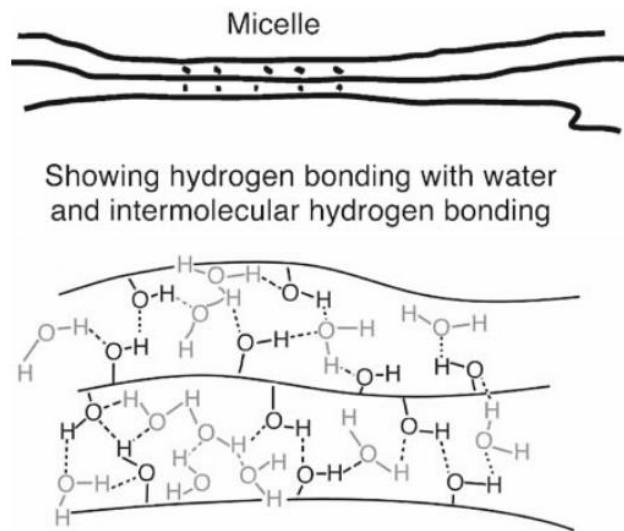


Figura 3 Enlace intermolecular de hidrógeno formado durante la hidratación de las gomas (Milda Embuscado, 2009)

Las diferencias estructurales de las gomas que afectan sus propiedades incluyen la presencia o ausencia de ramificación, carga eléctrica, sustitución (de unidades de azúcar), así como el peso molecular. Por regla general, las gomas de polisacáridos no iónicas, lineales y de alto peso molecular, forman películas fuertes que se desprenden en una pieza con un grosor seco de 5 milésimas de pulgada (0,005 “o 127 mm). El agar y la metilcelulosa son buenos ejemplos de polisacáridos formadores de película, mientras que los polímeros altamente ramificados (p. Ej., Goma arábica, goma ghatti, goma de alerce), con o sin carga aniónica, forman películas débiles que se desprenden en lugar de pelarlas superficie de fundición.

Al enriquecer el recubrimiento con algún agente antioxidante, puede que las propiedades del recubrimiento cambien. Por ejemplo (Wilpiszewska y Czech, 2014) menciona que el ácido cítrico

(CA) es un producto químico económico y no tóxico que contiene un grupo hidroxilo y tres grupos carboxílicos y, por lo tanto, puede servir como agente de reticulación del almidón. Además, los grupos carboxilo CA pueden formar fuertes enlaces de hidrógeno con los grupos hidroxilo del polisacárido. Como resultado, las propiedades mecánicas y la resistencia al agua pueden mejorarse.

2.9.3 Hidroxipropil metilcelulosa

La hidroxipropil metilcelulosa (HPMC) es un polímero no iónico, derivado semisintético de la celulosa, que se obtiene por reacción de la celulosa alquilica con una mezcla de cloruro de metileno y óxido de propileno (Andueza y Ávila, 2000). Los grados o tipos de HPMC dependen de la relación y distribución de los grupos funcionales presentes en la molécula, de tal manera que dependiendo del contenido en grupos metoxi (-OCH₃), hidroxipropoxi (-OCH₂CH(OH)CH₃) y peso molecular total, pueden diferenciarse grados de HPMC con propiedades y comportamientos distintos (Sánchez *et al.*, 2010).

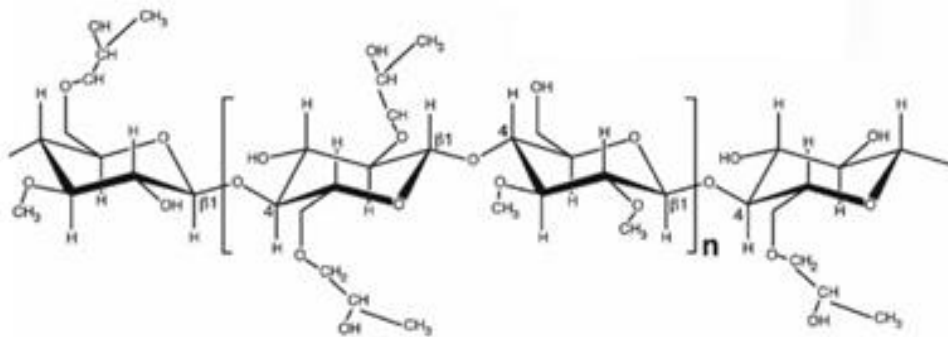


Figura 4 Estructura molecular del HPMC (Milda Embuscado, 2009)

El HPMC también se incluye en el grupo de compuestos conocidos como éteres de celulosa. Se fabrica haciendo reaccionar primero la celulosa purificada con reactivo alquilante (cloruro de metileno) en presencia de una base, típicamente hidróxido de sodio, y un diluyente inerte para formar metilcelulosa. La adición de base, en combinación con agua, activa la matriz de celulosa de alterar su estructura cristalina y aumentar el acceso de los grupos hidroxilo poliméricos al agente alquilante para promover la reacción de eterificación. Esta matriz activada se llama celulosa

alcalina. Una vez activada, la metilcelulosa se hace reaccionar luego con la adición por etapas de un óxido de alquileo, que en el caso de HPMC, es óxido de propileno. La HPMC es esencialmente la misma que la estructura de la metilcelulosa, excepto que además de la sustitución de metilo, algunos de los grupos hidroxilo libres de glucosa restantes se sustituyen con grupos hidroxipropilo., lo que abre aún más la molécula de celulosa (Figura 4) (Embuscado, 2009).

2.10 COLOR EN ALIMENTOS

El color se define como las longitudes de onda de la luz en el espectro visible que son detectados por la retina humana. Los colores detectados por el ojo humano están asociados con la radiación de la luz y van de 380 a 770 nm. A continuación, se exponen los valores de absorbancias por color: azul violeta 380 a 480 nm, verde 480 a 560 nm, amarillo 560 a 590 nm y rojo de 630 a 750 nm. Los espectrofotómetros, los colorímetros y los espectrorradiómetros miden el color. Los datos generados se categorizan numéricamente según la absorbancia, la distribución de potencia espectral relativa del iluminador y la geometría del objeto, entre otros factores. Un método para expresar estos valores es el espacio de color (Sant'Anna *et al.*, 2013).

El Instituto Internacional del color recomendó en 1976 el espacio de color CIEL*a*b*. Este espacio es un sistema coordinado cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L*, a*, b*, magnitudes que derivan matemáticamente de los valores de las coordenadas triestímulo. A partir de estas coordenadas es posible definir las magnitudes colorimétricas tono y saturación (Hunt, 1998)(Figura 5). Este espacio se recomienda para la industria de alimentos, ya que cubre uniformemente el espectro visible completo del ojo humano. Los parámetros colorimétricos se describen a continuación (Contreras, 2010):

- L* representa la luminosidad, atributo según el cual una superficie parece emitir más o menos luz. Para superficies reflectoras o transmisoras se reserva el término de claridad, por la que un cuerpo parece reflejar (o transmitir) por difusión una fracción mayor o menor de la luz incidente. Puede tomar valores entre 0 que sería negro absoluto y 100 blanco absoluto.

- a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el rojo si $a^* > 0$, hacia verde si $a^* < 0$.
- b^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad, hacia el amarillo si $b^* > 0$, hacia el azul si $b^* < 0$.
- C^* identificado como saturación o croma, es el atributo que permite estimar la proporción de color cromático puro contenido en la sensación total. Este concepto representa, por lo tanto, la pureza o intensidad relativa de un color. Numéricamente corresponde, en el plano cromático a^*-b^* , a la distancia desde el centro de la esfera de color al punto en cuestión.
- h^* corresponde al tono, atributo que ha suscitado nombres como azul, verde, amarillo, rojo, etcétera. Numéricamente, también en el plano cromático a^*-b^* , es una medida angular y corresponde al ángulo de matiz definido desde el eje positivo de la coordenada a^* , que varía entre 0 y 360° .

También se puede calcular ΔE^* , la cual es importante cuando se evalúa la relación entre los análisis visuales y numéricos. Hay diferentes tipos de iluminantes y cada iluminante es compuesto de varias longitudes de onda de luz visible. El D65 es el iluminador de luz diurna más comúnmente utilizado y el promedio de la luz del mediodía de todo el mundo. El observador 10 representa la mejor respuesta espectroscópica promedio de los observadores humanos (Sant'Anna *et al.*, 2013).

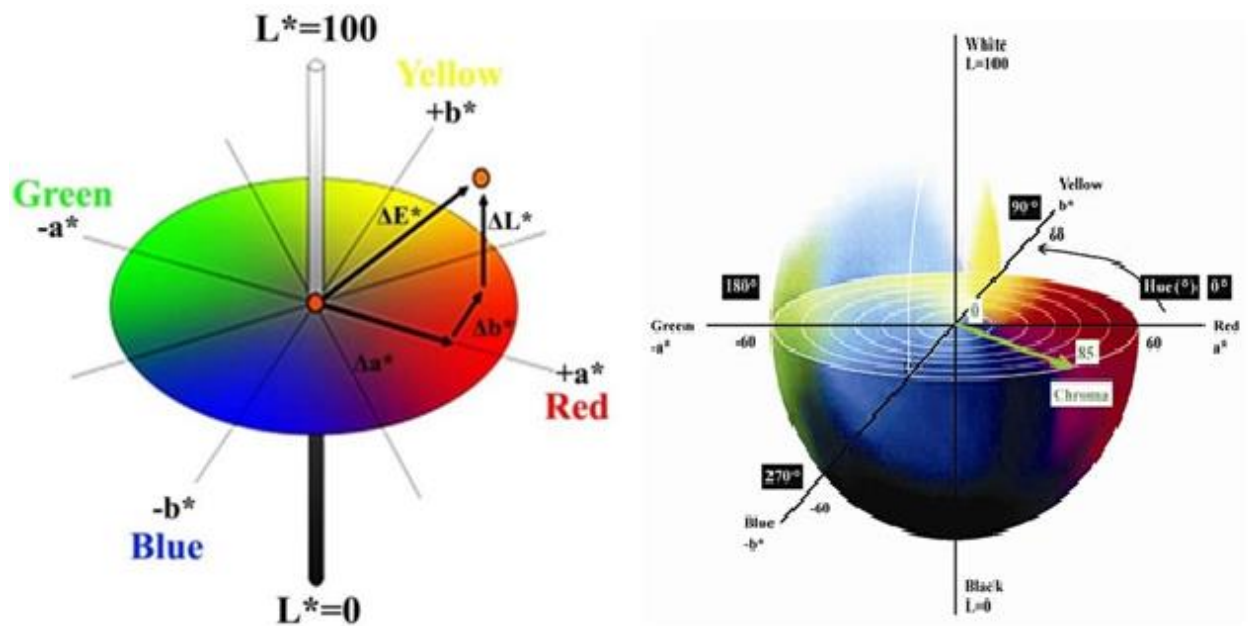


Figura 5 Ilustración del espacio de color CIELAB

Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-L-a-and-b-color-space_fig5_328675252https://www.researchgate.net/figure/The-three-dimensional-CIE-Lab-color-space_fig2_327237630

2.11 TEXTURA

El termino textura tiene diferentes significados dependiendo el material que se describe. Rosenthal (2001) la define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos y táctiles. La textura de un alimento trata de la percepción que se origina en la estructura del producto y cómo el producto se comporta cuando es manipulado o comido. Szczesniak (2002) la define como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos, detectados a través de los sentidos de la visión, oído, tacto y sinestesia.

Dado que la textura es un atributo de múltiples parámetros, y a la gran cantidad de palabras que se utilizan para describirla, Civille y Szczesniak (1973) realizaron una clasificación de las sensaciones de estos términos en ciertas categorías. La clasificación de las propiedades de textura se presenta en la Tabla 4. En la Tabla 5 se muestran los parámetros primarios de la textura y la relación con los términos populares.

Tabla 4 Definición de los parámetros mecánicos de textura

	Físicas	Sensoriales
Propiedades primarias		
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una determinada deformación.	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los dientes molares (en el caso de los sólidos) o entre la lengua y el paladar (en el caso de semisólidos).
Cohesión	Grado en que un material puede deformarse antes de que se rompa.	Grado en que una sustancia se comprime entre los dientes antes de que se rompa.
Viscosidad	Tasas de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza necesaria para la elaboración de un líquido con una cuchara sobre la lengua.
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado se remonta a su condición no deformada después de que se elimina la fuerza deformante.	Grado en que un producto vuelve a su forma original, después de que ha sido presionado entre los dientes.
Adhesividad	El trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante el proceso de alimentación normal.
Propiedades secundarias		
Fracturabilidad	Fuerza con la que un material se fractura: un producto de alto grado de dureza y un bajo grado de cohesión.	Fuerza con la que una muestra se desmorona, se le forman grietas o se rompe.
Masticabilidad	Requiere energía para masticar un alimento sólido a un estado listo para tragar: un producto de la dureza, cohesividad y elasticidad.	Tiempo requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación de la fuerza, para reducirla a una consistencia adecuada para la deglución.
Gomosidad	Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar: un producto de un bajo grado de dureza y un alto grado de cohesión.	Densidad que persiste durante toda la masticación; requiere energía para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar.

Nota: Adaptado de *Civille y Szczesniak (1973)*

Tabla 5 Clasificación de las características mecánicas de textura

Parámetros primarios	Parámetros secundarios	Términos populares
Dureza		Suave, firme, duro
Cohesividad	Fragilidad	Desmoronadizo, crujiente, frágil
	Masticabilidad	Blando, masticable, duro,
	Gomosidad	Gomoso
Viscosidad		Viscoso
Elasticidad		Plástico, elástico
Adhesividad		Pegajoso

Adaptado de Szczesniak (2002)

2.11.1 Compresión en los tejidos vegetales

Las propiedades mecánicas del tejido vegetal se deben a diferentes factores: turgencia celular, fuerza de unión celular a través de la lámina media, resistencia de la pared celular a la compresión o fuerzas de tensión, densidad de empaque de la célula que define los espacios libres con gas o líquido, el tamaño y forma de la muestra, la temperatura y la tasa de deformación. El patrón general de la respuesta mecánica del tejido vegetal muestra una relación tensión-deformación inicialmente lineal, o respuesta elástica, que se representa mediante el módulo de compresión (E_d) hasta un nivel crítico de deformación (Figura 6) (Chiralt *et al.*, 2001).

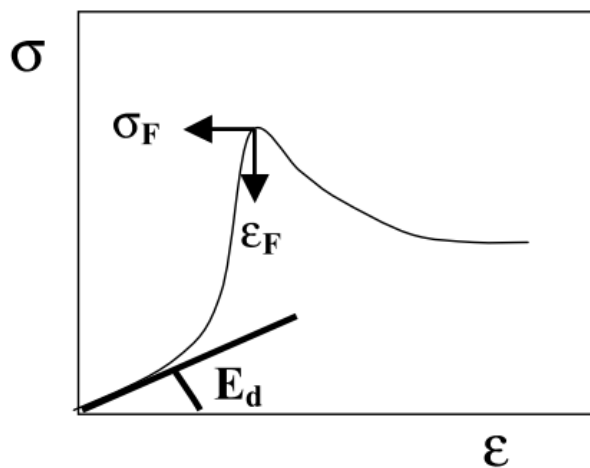


Figura 6 Curva de compresión uniaxial de tejido vegetal (Chiralt *et al.*, 2001)

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, que establece una base común de referencia. La letra griega épsilon (ε) denota la deformación, la cual, se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. Es un valor adimensional pequeño, del orden de magnitud de alrededor de 0.0012. La tensión de falla o fractura (σ_F) está asociada al punto máximo de la curva tensión-deformación. Ese punto a niveles elevados de deformación señala que se produce la fractura de la muestra (Barragán, 2016).

Los métodos de procesado de alimentos destruyen la integridad del plasmalema y la capacidad de la célula para mantener su turgencia. El procesado del alimento por calor también dará como resultado cambios en la pared celular, particularmente en la lámina media. En particular, en procesos de secado, la pérdida de agua y la exposición a altas temperaturas durante el proceso provocan el encogimiento celular y por consiguiente cambios en la textura de los productos obtenidos (Monzón, 2010). Estos cambios disminuyen la presión de turgencia y por lo tanto es más probable que se produzca la desunión celular que la ruptura celular (Chiralt *et al.*, 2001).

CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de preparación, análisis y desarrollo experimental de la presente investigación se esquematiza en la Figura 7.

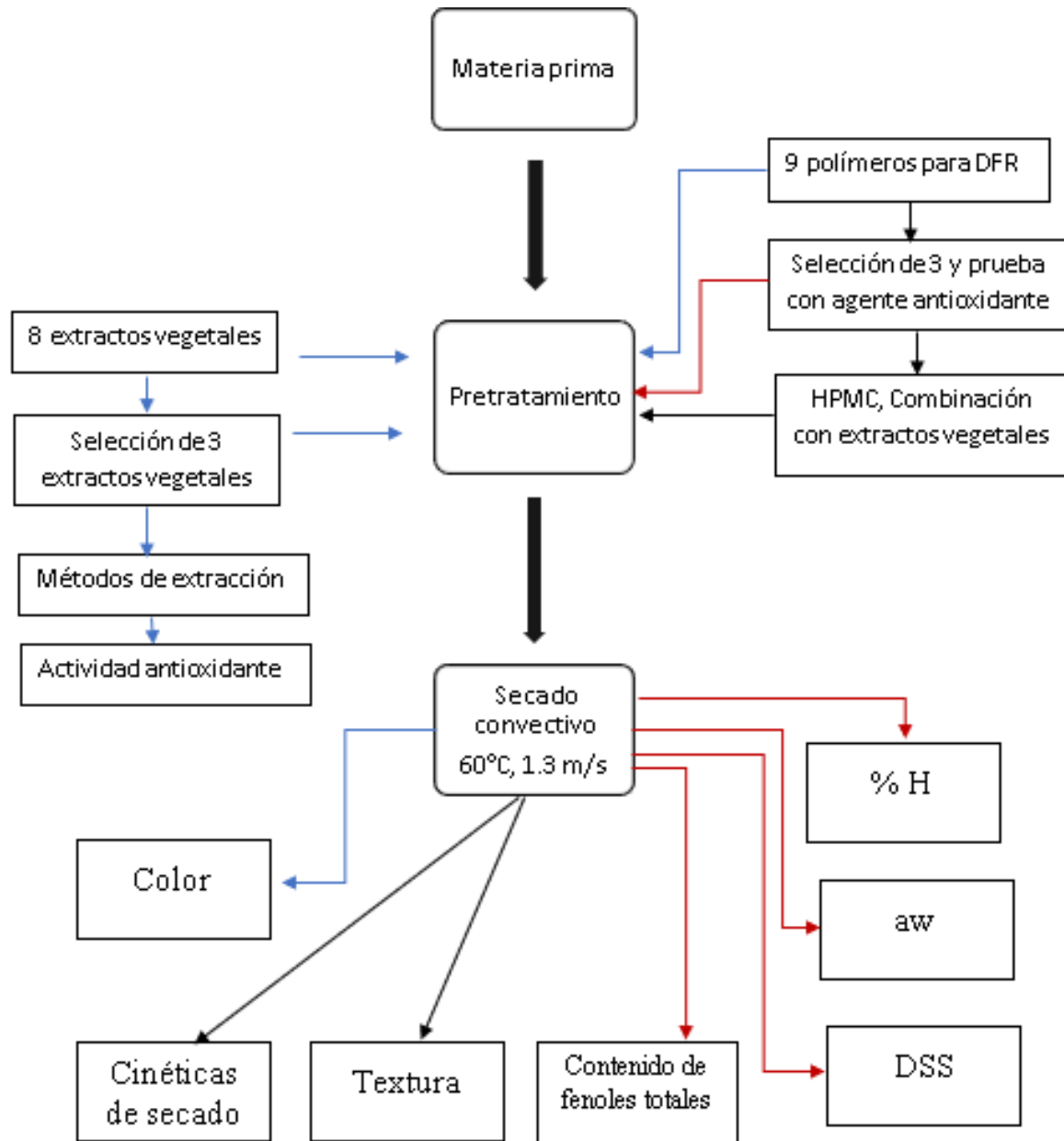


Figura 7 Diagrama de flujo metodológico del pretratamiento y recubrimientos de manzana deshidratada por convección

3.1 Materia prima

Las manzanas Red Delicious (*Malus Domestica*) utilizadas en este estudio se obtuvieron de un supermercado local, se refrigeraron a 4°C hasta su procesamiento. Se lavaron con agua potable y desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 1%. Con un sacabocados de 20 mm se retiró el corazón. Los extremos del pedúnculo y sépalo se eliminaron para uniformizar la superficie y sanear partes de mayor diámetro. Las rodajas se cortaron de forma transversal a un espesor de 3.0 ± 0.5 mm, se uniformizaron con un cortador cilíndrico de 60 mm de diámetro.

3.2 Selección de vegetales para extractos como agentes antioxidantes

En la primera etapa de experimentación, se utilizaron diferentes vegetales para probar la efectividad de sus extractos como agentes antioxidantes, se utilizaron ocho tipos de plantas: cilantro (*Coriandrum sativum*), perejil (*Petroselinum crispum*), epazote (*Dysphania ambrosioides*), hierba buena (*Mentha spicata*), tomillo (*Thymus*), jengibre (*Zingiber officinale*), orégano (*Origanum vulgare*) y mejorana (*Origanum majorana*). Los vegetales se compraron en un supermercado local en el mes de noviembre de 2017. A los vegetales utilizados se les cortaron las ramas, desprendiéndolas de los tallos más gruesos. Las ramas con hojas se lavaron con agua corriente y posteriormente se desinfectaron por inmersión con plata coloidal (Microdyn™, México) diluida en agua potable (1:300, v/v). Posteriormente se escurrieron para retirar el exceso de agua. Por último, las plantas se cortaron finamente para incrementar el área de exposición durante la extracción.

En la primera etapa de pruebas, los extractos (pretratamiento), se obtuvieron por maceración con agua destilada a 50 °C. A 250 mL de agua se agregaron 25 g de plantas cortadas y se dejaron macerar por 60 min. Posteriormente, el extracto se filtró con un tamiz número 60 y se dejó enfriar a temperatura ambiente (26 °C). Las rodajas de manzana, previamente cortadas, se sumergieron por 10 min en los extractos, enseguida se retiraron y se dejaron escurrir por un minuto para quitar el exceso.

Las rebanadas con pretratamiento se secaron por convección a 60 °C por 4 h en un secador de alimentos Excalibur, Parallexx. Como control se secaron rodajas de manzana sin pretratamiento.

Una vez secas, se seleccionaron aleatoriamente tres rodajas por cada pretratamiento. Se midió el color a tres condiciones: inmediatamente después de cortar la manzana en rebanadas, después de sumergir las muestras en los extractos vegetales y después del secado convectivo. Los valores CIE $L^*a^*b^*$ se obtuvieron con un espectrofotómetro Hunter Lab Mini Scan EZ (4500L), iluminante D65, observador 10°. Se calculó la ΔE (Ec. 2) como medida de diferencia de color entre las rodajas frescas sin extracto y las rodajas con extracto y secas. Los tratamientos con menor diferencia de color se seleccionaron para pruebas posteriores.

3.3 Evaluación del método de extracción de antioxidantes en vegetales

Las plantas frescas seleccionadas, perejil, epazote y jengibre se lavaron como se indica en el apartado 3.2. El jengibre se cortó en rebanadas de 3 mm de espesor y al igual que el epazote y perejil se secaron por convección en un secador Excalibur, Parallexx, a 45 °C hasta alcanzar un contenido de humedad de alrededor de 6 % base húmeda. Las plantas secas se pulverizaron en un molino de café Krups (número de serie 569244) durante 5 min, posteriormente se pasaron por un tamiz Montinox No.100, se empacaron al vacío y se mantuvieron en un desecador hasta su uso.

En la segunda etapa experimental, el polvo de cada vegetal se mezcló con un disolvente en una proporción 1:20 m/v. Como disolvente se utilizaron tres concentraciones de una mezcla etanol-agua al 0, 50 y 70 %. Se probaron tres procedimientos de extracción: maceración, con agitación tangencial y con baño ultrasónico (Tabla 6). Las cuales se describen a continuación:

- **Maceración:** las mezclas de polvo y solvente se calentaron a 40 °C por 1 h. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 1520 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó por filtración. Se realizó una segunda extracción en el residuo sólido siguiendo la misma técnica. Ambos extractos se mezclaron y almacenaron en un frasco ámbar con sello hermético a 20 °C hasta su uso.
- **Agitación tangencial:** la mezcla del polvo de cada planta y agua se colocaron en el agitador tangencial a 400 rpm a temperatura ambiente (26 °C) por 1 h. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 1520 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó por filtración. Se realizó una segunda extracción en el residuo sólido siguiendo la misma metodología. Ambos

extractos se mezclaron y almacenaron en un frasco ámbar con sello hermético a 20 °C hasta su uso.

- Baño ultrasónico: las mezclas de polvo de cada planta y solvente se colocaron en un baño ultrasónico a 26 °C por 30 min. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 1520 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó por filtración. Se realizó una segunda extracción en el residuo sólido siguiendo la misma metodología. Ambos extractos se mezclaron y almacenaron en un frasco ámbar con sello hermético a 20 °C hasta su uso.

Tabla 6 *Diseño metodológico para la obtención de extracto vegetal*

Procedimiento de extracción	Concentración de disolvente etanol-agua
Maceración	0, 50 y 70 %
Agitación tangencial	0, 50 y 70 %
Baño ultrasónico	0, 50 y 70 %

Para medir la efectividad de cada método de extracción y la concentración del disolvente se determinó actividad antioxidante con un ensayo de radical DPPH (apartado 3.3.1).

Una vez analizados los resultados de la actividad antioxidante, se procedió a seleccionar un método de extracción a una determinada concentración de disolvente.

3.3.1 Determinación de actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó con un ensayo de radical DPPH, de acuerdo con el método descrito por Méndez *et al.*, 2017, con algunas modificaciones. Para la solución de DPPH se añadió 9.75 mg de radical en 250 mL de metanol al 80%, esta disolución se colocó en baño ultrasónico durante 30 minutos.

Se realizó una curva de calibración con ácido ascórbico (AA). Para la solución patrón se agregaron 6.25 mg de AA a 25 mL de metanol al 80%, la cual se diluyó a 25, 21, 17,12.5, 9, 5 y 0 mg/100 mL. Se tomaron por triplicado 100 µL de cada dilución, se colocaron en tubos de ensayo y se les agregó 2.9 ml de solución de DPPH.

Se añadieron 2.9 ml de solución de radical DPPH a una muestra de 100 μ l. Después de la incubación en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 minutos, se analizaron los cambios en la absorbancia de las muestras a 515 nm. La actividad depuradora de radicales DPPH se expresó como mg de equivalentes de ácido ascórbico (AAE) por g de vegetales secos y puede estimar las capacidades de varias moléculas secuestrantes de radicales libres.

Los experimentos se realizaron por triplicado por cada extracto. El análisis estadístico se realizó utilizando el software estadístico NCSS 12. Los valores se analizaron mediante un análisis de varianza de dos factores (ANOVA). Se utilizó un diseño factorial 3^2 con un modelo aditivo por cada planta. El diseño factorial incluía el método de extracción y la concentración del solvente. Las diferencias entre las medias se probaron con un nivel de confianza del 95%. Se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de pares de medias de tratamientos ($P \leq 0.05$).

3.5 Selección de polímero para la DFR

Las disoluciones formadoras de recubrimiento (DFR) fueron preparadas a partir de Alginato Sódico (Sigma-Aldrich St Louis, MO, USA), Goma Gelano (CP Kelco Atlanta, GA, USA), k-Carragenato (Sosa ingredients, Moia, Barcelona), Proteína de Suero Lácteo (HAARA Tampere, Finlandia), Goma Xantana (EPSA Torrente, Valencia), Hidroxipropil Metilcelulosa [HPMC] (Sigma-Aldrich St Louis, MO, USA), Metil Celulosa [MC] (VWR Prolabo), Caseinato Sódico (Sigma-Aldrich St Louis, MO, USA), Glicerol (Panreac Química, Castellar del Vallés, Barcelona) y Almidón de maíz. Las pruebas descritas se realizaron en el Laboratorio del Grupo de Fisicoquímica de Alimentos del Instituto de Ingeniería para el Desarrollo de la Universidad Politécnica de Valencia, de septiembre a diciembre de 2018.

3.5.1 Preparación de las disoluciones formadoras de recubrimiento

Se consideraron para las primeras pruebas los siguientes polímeros: Alginato sódico, Goma gelano, Proteína de suero lácteo, k-Carragenato, Goma xantana, Hidroxipropil Metilcelulosa (HMPC), Metil Celulosa (MC), Caseinato sódico y Almidón de maíz. Para las soluciones de Proteína de

suero, Goma Xantana y Caseinato sódico se incorporó glicerol como plastificante al 0.3 % respecto al polímero. Las dispersiones de proteína se realizaron a 40 °C con el porcentaje de sólidos reflejado en la Tabla 7. La proteína de suero fue sometida adicionalmente a un tratamiento térmico de 30 min a 90 °C para su desnaturalización y el almidón, a 95 °C durante 30 min para que tenga lugar la gelatinización. La Tabla 7 muestra las concentraciones de polímeros y plastificantes utilizados para las diferentes formulaciones líquidas.

Tabla 7 *Concentraciones de los polímeros y plastificante en las diferentes DFR*

Polímero	Polímero (%)	Glicerol (%)
Alginato	5.50	0.00
Goma gellan	0.90	0.00
Proteína de suero lácteo	8.00	2.40
k-Carragenato	0.60	0.00
Goma xantana	0.75	0.23
Hidroxipropil metilcelulosa	6.00	0.00
Metil celulosa	2.75	0.00
Caseinato	15.00	4.50
Almidón	1.50	0.45

3.5.2 Evaluación de recubrimientos en el secado convectivo

Las rodajas de manzana previamente pesadas fueron sumergidas en las DFR durante 1 minuto, posteriormente se dejaron escurrir durante 20 min, para retirar el exceso de DFR. Esta prueba se realizó por triplicado para cada DFR. A las muestras utilizadas en los controles no se les aplicó ninguna disolución. Para evitar la pérdida de recubrimiento al contacto con alguna superficie, las rodajas recubiertas se manipularon con ganchos (Figura 8).

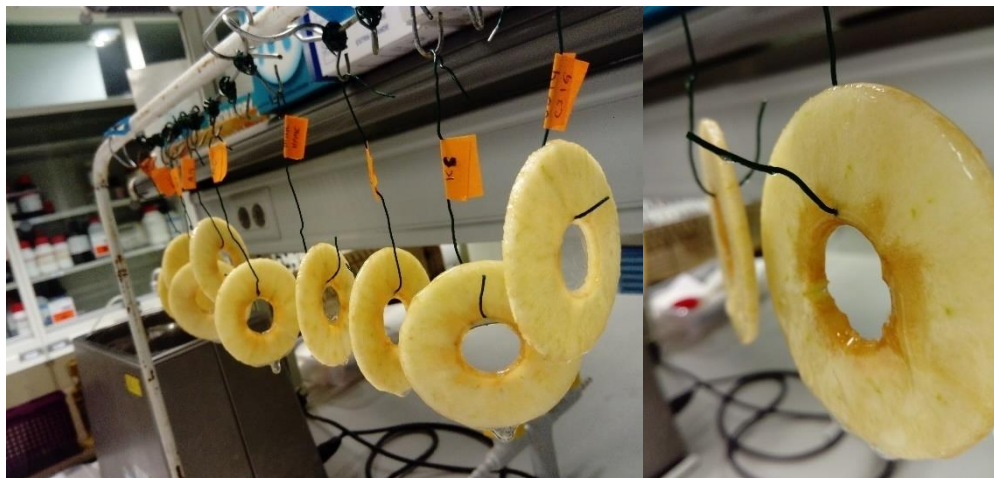


Figura 8 Rodajas de manzana con DFR

Se realizó control de peso antes y después del escurrido y después del secado a 60 °C y 1.3 m/s por 5 h. Para esta prueba se utilizó un secador convectivo de gabinete (Marca Liz, modelo 500). Las rodajas permanecieron suspendidas en el interior del secador (Figura 9).



Figura 9 Rodajas de manzana en el interior del secador de gabinete

Las rodajas secas se analizaron visualmente de acuerdo con el nivel de pardeamiento y encogimiento. Se realizó un análisis sensorial por ordenamiento. Las muestras codificadas se presentaron a cinco panelistas y se les pidió que las ordenaran de acuerdo con color de la muestra. Asignando el número 1 a la rodaja más clara y 9 a la más oscura. Se seleccionaron los tres polímeros con los números del 1 al 3 para la prueba de sabor. Posteriormente, los panelistas analizaron el sabor. De las muestras clasificadas como más claras, se ordenó del 1 al 3, siendo 1 el sabor más parecido a manzana.

3.5.3 Evaluación de agente antioxidante en DFR en secado convectivo

Una vez que se realizó una primera selección de polímeros, se procedió a hacer una prueba de interacción con un agente antioxidante en este caso, ácido cítrico y extracto de jengibre. La Tabla 8 muestra las concentraciones de polímero y ácido cítrico (AC) utilizados para las DFR. Se utilizaron 4 rodajas por tratamiento.

Tabla 8 *Concentración de polímero-antioxidante en DFR*

DFR	Polímero (%)	Ácido cítrico (%)
Muestra control sin tratamiento	0	0
Hidroxipropil metilcelulosa	6.00	0
Metil celulosa	2.75	0
Hidroxipropil metil celulosa + ácido cítrico	6.00	1.5
Metil celulosa + ácido cítrico	2.75	1.5

Se aplicó la DFR (apartados 3.1 y 3.5.2), se registró el peso después del tratamiento y reposo para retirar el exceso de disolución. Las rodajas permanecieron suspendidas durante el secado a 60 °C y 1.3 m/s por 4 h. El tiempo de secado se determinó para alcanzar 10% de contenido de humedad en la muestra. Para esta prueba se utilizó un horno de convección Rational (modelo scc62). Se realizó un segundo análisis sensorial (apartado 3.5.2) esta vez los panelistas seleccionaron la muestra más clara.

3.6 Evaluación de HPMC con agente antioxidante

La disolución formadora de recubrimiento (DFR) se preparó a partir de Hidroxipropil Metilcelulosa (HPMC) (Sigma-Aldrich St Louis, MO, USA), la cual fue seleccionada, de entre otros ocho polímeros, después de observar su adherencia a la muestra y aspecto tras el secado.

Se utilizó como agente antioxidante ácido cítrico y extracto de jengibre (apartado 3.3). Esta prueba se realizó para confirmar que se puede agregar un extracto vegetal en la DFR. Posteriormente se realizaron pruebas con los extractos de epazote y perejil. La Tabla 9 muestra las concentraciones de polímeros y antioxidantes utilizados para las diferentes formulaciones líquidas.

Tabla 9 Concentraciones polímero y antioxidante en las DFR

Tratamiento	Polímero (%)	Antioxidante (%)
Hidroxipropil metilcelulosa + ácido cítrico	6.00	1.5
Hidroxipropil metilcelulosa + extracto de jengibre	6.00	5.0

Como muestras control se prepararon muestras sin tratamiento, muestras sumergidas en agua, en una disolución de ácido cítrico (1.5 %p.p), extracto de jengibre (5 % p,p) y HPMC (6% p,p).

Las rodajas de manzanas se sumergieron en la DFR (apartado 3.5.2), y se secaron por convección (Isagabi, Rational SCC-62, 60°C, 1.3 m/s, 4 h).

3.6.1 Densidad superficial de sólidos

La densidad superficial de sólidos (DSS) se midió en las rodajas de manzana frescas recubiertas. Se determinó como indicador del espesor medio del recubrimiento, por diferencia de masa antes y después de la aplicación del recubrimiento, utilizando una balanza de precisión (Kern PFB 120-3). Una vez cuantificada las masas de las rodajas recubiertas y sin recubrir se aplicó la ecuación 1.

$$DSS = \frac{(M_R - M_0) \times X_s DFR}{M_0} \times \rho_m \times \frac{1}{Se} \quad (\text{Ecuación 1})$$

M_R = masa de la rodaja de manzana recubierta (g)

M_0 = masa de la rodaja de manzana sin recubrir (g)

$X_s DFR$ = fracción másica de sólidos en la DFR (g sólidos / g disolución)

ρ_m = densidad de la manzana (g/m³)

Se = superficie específica de las partículas de la manzana (m² partículas / m³ manzana).

3.6.2 Contenido de humedad y actividad de agua (a_w)

El contenido de humedad se determinó por el método oficial de la AOAC 934.06 de humedad para frutas secas. Se utilizó una estufa de vacío (JP Selecta, Vaciotem-T)). La actividad de agua en muestras deshidratadas se midió en un medidor de actividad de agua Decagón (Aqua Lab, Modelo CX-3).

3.6.3 Color

Se obtuvieron las coordenadas CIE L*a*b*, Chrome (C*ab) y hue (h*ab) de las rodajas deshidratadas, con un colorímetro espectrofotómetro (CM-3600^a, Minolta Co., Tokyo, Japon); iluminante D65, observador 10°. Las mediciones se realizaron en las muestras control, en las rodajas antes del recubrimiento y las rodajas con cada DFR después de secar. La medición se tomó en cuatro puntos de cada muestra y cinco medidas por tratamiento. Los resultados se expresaron como coordenadas CIELAB que definen el color en un espacio tridimensional. Se calculó la ΔE (Ecuación 2) como medida de diferencia de color entre las rodajas frescas sin recubrimiento y las rodajas recubiertas y secas. Además, se determinó el índice de blancura (IB) (Ecuación 3) (Pastor *et al.*, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

3.6.4 Determinación de contenido de fenoles totales

Se pesaron 10g de muestra seca de cada pretratamiento y se agregaron 25 ml de MeOH (80%). (PanReac AppliChem), se homogeneizaron en un ultraturrax (T25, IKA[®], Alemania). Para la extracción se introdujo en baño ultrasónico por 30 min y se centrifugó a 10,000 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó en un vial ámbar. A los residuos se les realizó una segunda y tercera extracción con 15 ml y 10 ml de MeOH respectivamente, siguiendo el mismo procedimiento que la primera extracción.

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin Ciocalteu (Talón *et al.*, 2017). En un tubo de ensayo se agregaron 100 μ l del extracto de la muestra, 500 μ l de reactivo Folin Ciocalteu, 1.5 ml de de Na₂CO₃ al 20% (p, v), la mezcla se llevó a 10 mL con agua destilada y se agitó en un vortex. Se incubó por 2 h en la oscuridad y a temperatura ambiente, pasado ese tiempo las absorbancias se midieron a 765 nm en un espectrofotómetro UV-vis (Evolution 201, Thermo Scientific). Se utilizó ácido Gálico como estándar y los resultados se expresaron como mg

equivalentes de ácido Gálico (EAG) por g de sólido seco de muestra. Las pruebas se realizaron por triplicado.

El análisis estadístico se realizó con el software STATGRAPHICS Centurion XVII (USA). Se realizó un análisis de varianza unifactorial y prueba de Múltiples rangos para cada factor, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

3.7 Evaluación de DFR de HPMC con extractos vegetales

En esta etapa experimental se conjugaron los resultados observados en las pruebas descritas anteriormente, para probar la efectividad de los extractos de epazote y perejil. Por un lado, se aplicaron como pretratamiento de secado extractos acuosos de perejil, epazote y jengibre. A estos extractos se les agregó HPMC para obtener una DFR con agente antioxidante. Por otro lado, se manejaron unas muestras control, rodajas sin tratamiento, rodajas recubiertas solo con HPMC y rodajas pretratadas con ácido cítrico. El objetivo fue analizar el efecto de los pretratamientos sobre la calidad de rodajas de manzana deshidratadas. El procedimiento se describe a continuación.

3.7.1 Preparación de los extractos vegetales e incorporación a las DFR

El perejil, epazote y jengibre se lavaron y cortaron conforme al procedimiento descrito en la sección 3.2. En un vaso de precipitado se calentó agua destilada hasta 40 °C y se agregaron los vegetales frescos cortados muy finamente a una concentración de 1 % $p_{\text{eso seco}}$. Se mantuvo en maceración por 1 h, posteriormente, la mezcla se centrifugó a 1520 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó por filtración con un tamiz número 60. Se realizó una segunda extracción en el residuo sólido siguiendo la misma metodología. Ambos extractos se mezclaron y almacenaron en un frasco ámbar con sello hermético a 20 °C hasta su uso. Estos extractos se utilizaron como pretratamiento directamente.

Las DFR se prepararon mezclando un extracto vegetal con HPMC (6.00%, p/p) a temperatura ambiente y se utilizó un agitador magnético a 500 rpm por 3 h. Una vez preparada se mantuvo en refrigeración a 14°C hasta su uso. Las muestras control sin tratamiento, se cortaron y se introdujeron al secador enseguida. Las muestras con todos los pretratamientos se sumergieron en las DFR (apartado 3.6.5) y posteriormente se secaron por convección.

3.7.2 Proceso de secado convectivo

Las rodajas de manzana impregnadas con extractos vegetales, cubiertas con DFR y las muestras control fueron deshidratadas por aire caliente a 60 °C, 1.3 m/s en un secador convectivo tipo túnel Patente 304462 (Figura 10), hasta alcanzar un peso constante. En estos ensayos las rodajas se colocaron de manera horizontal, ya que por el tamaño de la cámara de secado no pudo ser posible mantenerlas suspendidas. Las rodajas se colocaron sobre rejillas de plástico para evitar pérdidas del recubrimiento al contacto con una rejilla metálica. Los pesos de las muestras se monitorearon durante la primera hora cada cinco minutos, la segunda y tercera hora cada diez minutos y la cuarta hora cada veinte minutos. Esto debido a que la velocidad de secado disminuye continuamente con el tiempo. Se extrajo una charola con nueve rodajas y se pesó en una balanza externa (Sartorius) con sensibilidad de 0.01 g.



Figura 10 Túnel de secado para pruebas piloto

3.7.3 Color

Se obtuvieron las coordenadas CIE L*a*b* con un colorímetro espectrofotómetro Hunter Lab Mini Scan EZ (MSEZ1118), iluminante D65, observador 10°. Las mediciones se realizaron tal como se indica en el apartado 3.6.9.

3.7.4 Contenido de fenoles totales

La preparación de las muestras y la determinación de fenoles totales por el método de Folin Ciocalteu se llevó a cabo siguiendo el método descrito por Méndez *et al.* (2017) con algunas modificaciones. Las muestras de manzana deshidratada se trituraron en un mortero. Se pesaron 0.5g y se agregaron 5 ml de MeOH (PanReac AppliChem) (80%). Posteriormente se introdujo en baño ultrasónico por 30 min y se centrifugó a 10,000 rpm por 10 min. El sobrenadante se recuperó en un vial ámbar. A los residuos se les realizó una segunda y tercera extracción con 3ml y 2ml de MeOH respectivamente, siguiendo el mismo procedimiento que la primera extracción. Por último, el extracto orgánico recolectado se llevó a un volumen de 10 ml con agua destilada.

En un tubo de ensayo se agregaron 200 µl del extracto de la muestra, 200 µl de reactivo Folin Ciocalteu, (Hycel) diluido en una proporción 1:1 con agua destilada, 2 ml de Na₂CO₃ (Sigma-Aldrich) al 7 % (p,v), por último la mezcla se llevó a 5 mL con agua destilada y cada tubo se agitó en un vortex. Se incubó por 1 h en total oscuridad y a temperatura ambiente. Pasado ese tiempo se midieron las absorbancias a 750 nm, utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific (Genesys 105 UV-VIS). Se utilizó ácido gálico (Sigma) como estándar y los resultados se expresaron como mg/L de equivalentes de ácido gálico (EAG). Las pruebas se realizaron por triplicado.

3.7.5 Análisis de textura

A las rodajas deshidratadas con y sin pretratamientos se les realizó una prueba de compresión. Se midió crujibilidad, crocancia y dureza con un analizador de textura TA1 Ametek (Lloyd materials testing, E.U.). Se utilizó una sonda de bola de acero inoxidable de 10 mm y un inserto de mesa base con un orificio de 6 mm. Los parámetros de prueba se ajustaron de la siguiente manera: 1 mm/s de velocidad previa y de prueba hasta una extensión de 10 mm, y precarga de 0.05 N (Yi *et al.*, 2016). El ensayo se realizó en cinco muestras de cada tratamiento, en cuatro puntos diferentes.

3.7.6 Rehidratación

Las rodajas secas de todos los pretratamientos se rehidrataron por inmersión en 100 mL de agua destilada a 60 °C por una hora. Durante la rehidratación los pesos de las muestras se registraron cada 10 min, se eliminó el exceso de agua superficial con papel absorbente. Los pesos de las muestras secas y rehidratadas se midieron en una balanza digital electrónica Denver Instrument con una sensibilidad 0.001 g. La capacidad de rehidratación (CR) se calculó con la ecuación 5. La prueba se realizó por duplicado y se calculó el promedio de la CR.

$$CR = \frac{W_r}{W_s} \quad (\text{Ecuación 5})$$

W_r = peso de la muestra rehidratada

W_s = peso de la muestra seca

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Los resultados de la experimentación se presentan en cinco apartados. En el primero, se presentan los resultados obtenidos de la sección de extractos vegetales. En el segundo apartado, se presentan los resultados de la actividad antioxidante obtenida por diferentes métodos de extracción. Con estos datos se seleccionó al método de extracción para las pruebas posteriores. Enseguida se describe la selección del polímero para la disolución formadora de recubrimiento. En el apartado cuatro se presentan los resultados del efecto del recubrimiento con agentes antioxidantes sobre la calidad de las rodajas deshidratadas. Por último, en el apartado cinco, se presentan las cinéticas de secado obtenidas al deshidratar las rodajas de manzana con los diferentes pretratamientos. Además, se presentan resultados de color, contenido de fenoles totales y textura.

4.1 Selección de vegetales para extractos como agentes anitoxidantes

Con los parámetros de color L^* , a^* y b^* , medidos en manzanas pretratadas con extractos vegetales y deshidratadas, se calculó la diferencia de color ΔE (Tabla 10). Con este valor se puede evaluar el efecto térmico combinado con la efectividad antioxidante de los extractos vegetales debidos al pardeamiento enzimático o reacciones de Maillard.

Se observa que las medias de los valores de las ΔE de los extractos obtenidos de jengibre, epazote y cilantro son los menores. Por lo que se decide utilizar estas tres plantas para pruebas posteriores. Además, se puede observar que los extractos de mejorana, hierba buena y orégano son las muestras con las que se observa mayor diferencia de color y por lo tanto son las que se encuentran más pardeadas tras el secado.

La actividad antioxidante de estas plantas se atribuye a los gingeroles, en el caso de jengibre (Semwal *et al.*, 2015); a los flavonoides, terpenos y esteroides en el epazote y perejil (Munguia, Cuevas y Martinez, 2012; Ortega *et al.*, 2014).

Tabla 10 Diferencia de color (ΔE) de muestras con tratamiento respecto a la muestra inicial sin secar

Extracto vegetal	ΔE
Cilantro	13.8 ± 0.4^e
Epazote	12.9 ± 0.7^e
Perejil	12.8 ± 0.6^e
Hierba Buena	23.0 ± 0.4^b
Jengibre	8.0 ± 0.6^f
Tomillo	16.1 ± 0.5^d
Orégano	21.2 ± 0.8^c
Mejorana	29.3 ± 0.6^a

^{a,b,c,d,e,f}...indican diferencias significativas entre tratamientos con un 95% de confianza

4.2 Evaluación de métodos de extracción de antioxidantes en vegetales

La extracción de muestras sólidas con agua o solventes químicos como etanol, metanol o acetona, generalmente conocida como extracción solido-líquido es un proceso diseñado para recuperar compuestos solubles mediante difusión, desde una matriz sólida hacia una matriz líquida. Es un método muy utilizado para obtener extractos con diferentes compuestos fenólicos (Venanzi, 2014).

Se analizó el efecto del método de extracción, por medio de la cuantificación de la actividad de eliminación de radicales DPPH en cada extracto vegetal. Los extractos se obtuvieron por tres métodos: agitación tangencial, baño ultrasónico y maceración; como solvente se utilizó una mezcla etanol-agua en tres concentraciones 0, 50 y 70%. Los resultados de las pruebas de actividad antioxidante de extractos de plantas se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 Actividad antioxidante de extractos vegetales

Método de extracción	Concentración de Etanol (%)	Epazote (mg EAA/g _{ss})	Perejil (mg EAA/g _{ss})	Jengibre (mg EAA/g _{ss})
Baño ultrasónico	0	1.7 ± 0.8	6.5 ± 1.8	18.3 ± 0.6
	50	6.1 ± 0.6	17.1 ± 2.7	21.1 ± 0.2
	70	6.2 ± 1	8.2 ± 2.1	21.9 ± 0.5
Maceración	0	1.3 ± 0.4	8.2 ± 2.1	15.5 ± 0.8
	50	14.6 ± 0.6	16.5 ± 1.9	22.5 ± 0.1
	70	12.0 ± 2.2	11.5 ± 2.8	23.0 ± 0.1
Agitación Tangencial	0	1.5 ± 1	9.4 ± 4.2	17.6 ± 1.6
	50	6.8 ± 0.6	13.1 ± 0.5	21.5 ± 0.1
	70	10.7 ± 2.5	11.5 ± 1.5	21.7 ± 0.3

Nota: EAA: Equivalentes de Ácido Ascórbico; gss: gramos de sólido seco

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar una prueba de Tuckey se puede decir que, para obtener el extracto de perejil con mayor actividad antioxidante, no existe diferencia significativa entre las medias de los métodos de maceración o sonicación con 50 % de etanol. En el caso del extracto de jengibre, no existe diferencia significativa en las medias de actividad antioxidante con los diferentes métodos de extracción, pero si con la concentración. Así que se podría utilizar cualquier método de extracción a una concentración de etanol de 50 o 70%. En los extractos de epazote existe diferencia significativa en las medias de actividad antioxidante en los diferentes métodos de extracción, concentraciones e interacciones. Lo recomendable es utilizar maceración a 50 % de etanol.

Con el método de maceración se obtienen valores más altos de actividad antioxidante en los tres vegetales. Esto se puede deber a que al aumentar la temperatura del agua de maceración se liberan la mayor parte de compuestos antioxidantes (Venanzi, 2014). Además, Mujica *et al.* (2009) menciona que la cantidad de compuestos fenólicos extraídos depende del tiempo de extracción, por lo que sugiere 1 h de maceración en agua. Safdar *et al.* (2017) explica que la solubilidad de compuestos fenólicos aumenta con la adición de agua, ya que debilita los enlaces de hidrógeno entre proteínas y polifenoles.

Los fenoles son muy susceptibles a la oxidación, por lo tanto, actúan como antioxidantes naturales. Experimentan la oxidación antes que otras especies susceptibles de ser oxidadas y en consecuencia las protegen frente a los ataques de radicales libres. La solubilidad de compuestos fenólicos depende de su grado de polimerización, las interacciones con otros componentes, y la polaridad del solvente. La mezcla etanol- agua es el solvente comúnmente empleado para la extracción de fitoquímicos, por la ausencia de toxicidad (aceptado por la FDA como solvente grado alimenticio) (Mujica, Granito y Soto, 2009; Venanzi, 2014).

Luego de analizar los resultados, se decide utilizar el método de maceración para pruebas posteriores.

4.3 Selección de polímero para la DFR

Las rodajas recubiertas y secas se analizaron visualmente. En la Figura 11 se observa la diferencia de color entre las rodajas recubiertas con los diferentes polímeros. Con respecto al análisis sensorial por ordenamiento los resultados indicaron que la muestra más clara era la de hidroxipropil metilcelulosa y como número dos la de metil celulosa.

Los polímeros seleccionados se mezclaron posteriormente con una solución de ácido cítrico, como agente antioxidante, para observar si es viable la combinación de ambas sustancias. Cuando se realizaron las pruebas con la incorporación de ácido cítrico, se obtuvieron las rodajas presentadas en la Figura 12. También se observan rodajas sin tratamiento y con solo ácido cítrico para comparar la apariencia.

En la Figura 12 se observa que las rodajas recubiertas con hidroxipropil metilcelulosa y ácido cítrico presentan menor pardeamiento. Esto concuerda con el resultado del segundo análisis sensorial en donde los panelistas indicaron que la muestra más clara era la de hidroxipropil metilcelulosa y ácido cítrico. Por lo que se seleccionó el HPMC como polímero para las disoluciones formadoras de recubrimiento que se utilizaron para las pruebas posteriores.

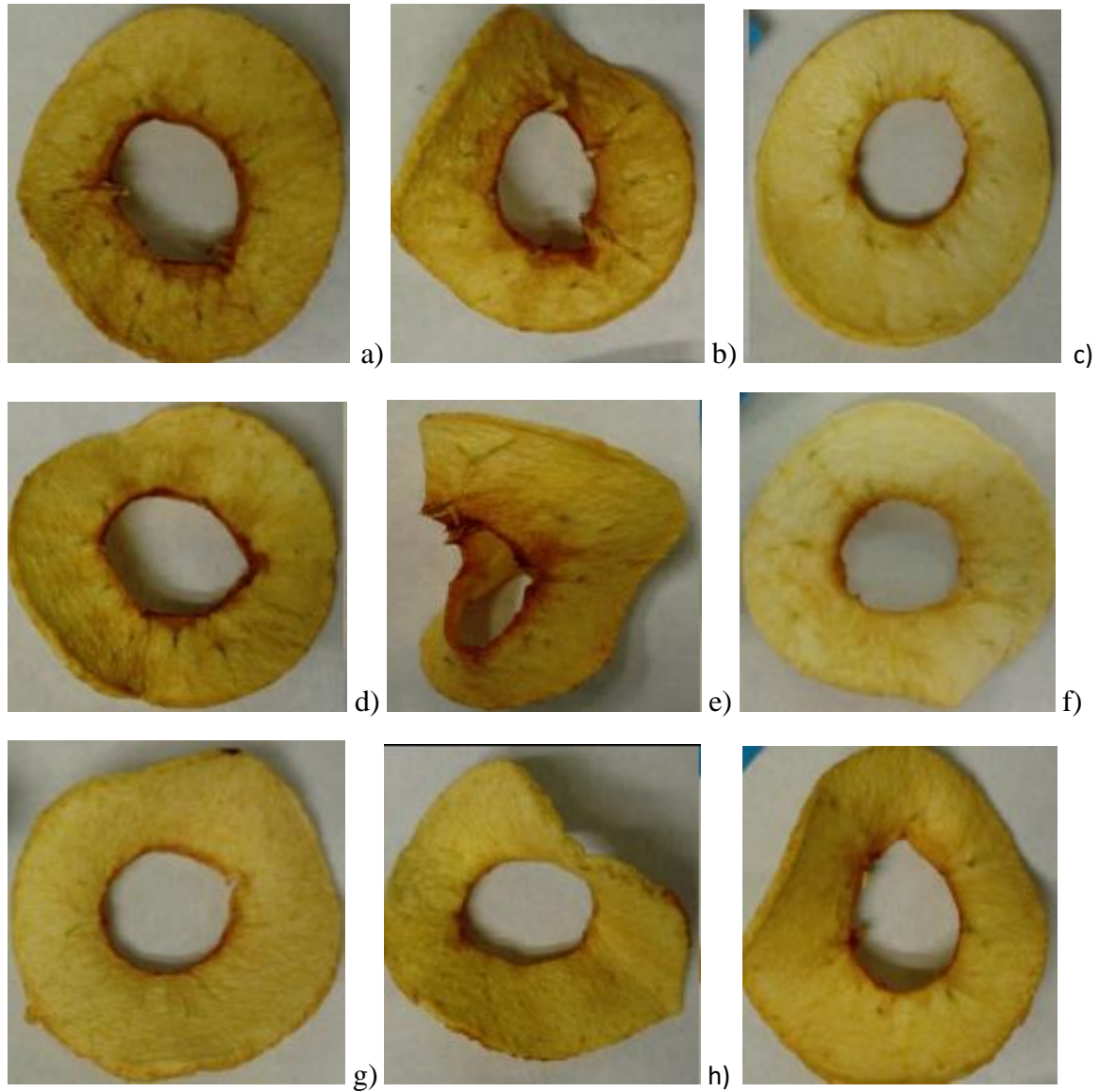


Figura 11 Efecto del polímero en el pardeamiento de manzana deshidratada.

a) Alginato sódico, b) goma gelan, c) proteína de suero lácteo, d) k-carragenato, e) goma xantana, f) hidroxipropil metilcelulosa, g) metil celulosa, h) caseinato sódico y i) almidón de maíz



Figura 12 Efecto del polímero con agente antioxidante en el pardeamiento de manzanas deshidratadas.

a) Sin tratamiento, b) ácido cítrico, c) metilcelulosa, d) metilcelulosa y ácido cítrico, e) hidroxipropil metilcelulosa y f) hidroxipropil metilcelulosa y ácido cítrico

Los recubrimientos comestibles pueden usarse como pretratamiento de secado convectivo, ya que pueden proteger al alimento contra la oxidación de compuestos biológicamente activos, actuando como una barrera al oxígeno (García *et al.*, 2014). Esto se debe a que las propiedades funcionales más importantes de las películas y recubrimientos comestibles son sus propiedades de barrera a gases, al vapor de agua y a la migración de compuestos, además, su capacidad de protección física y mecánica y su impacto sobre el color y el brillo del producto (Sapper y Chiralt, 2018).

4.4 Evaluación de HPMC con agente antioxidante

El efecto de los diferentes pretratamientos en el secado convectivo de rebanadas de manzana fue estudiado y comparado con el secado sin pretratamiento. Los recubrimientos comestibles sobre rebanadas de manzana antes del secado convectivo es una tecnología que puede conservar las cualidades nutritivas y sensoriales de productos deshidratados.

4.4.1 Densidad superficial de sólidos

Las muestras tratadas con HPMC-J y HPMC-AC presentaron una densidad de sólidos significativamente mayor ($p < 0.05$) que las muestras con solo HPMC (Tabla 12). Esto se debe a la mayor viscosidad de estas disoluciones, que permiten una mayor retención de sólidos en la superficie de las muestras durante el secado del recubrimiento. El espesor y la estructura de las macromoléculas del recubrimiento podrían contribuir a proteger la muestra contra daños oxidativos durante el secado (Silva *et al.*, 2015).

Tabla 12 Densidad superficial de sólidos

Tratamiento	DSS(g/m ²)
Hidroxipropil metilcelulosa	2.65 ± 0.15 ^b
Hidroxipropil metilcelulosa + ácido cítrico	3.21 ± 0.13 ^a
Hidroxipropil metilcelulosa + extracto de jengibre	3.4 ± 0.3 ^a

4.4.2 Contenido de humedad y actividad de agua

La Tabla 13 presenta el contenido de humedad (base húmeda) y actividad de agua (25°C) de las rodajas de manzana control y recubiertas con las diferentes formulaciones después del secado a 60°C y 1.3 m/s por 4 h. También se muestra la densidad superficial de sólidos (DSS) de las muestras recubiertas, como indicador del espesor medio del recubrimiento.

Las rodajas de manzanas no recubiertas mostraron menores valores de a_w ($p < 0.05$) que las recubiertas a base de HPMC. Aunque sí existen diferencias significativas en los valores de a_w de las muestras recubiertas y no recubiertas, los resultados mostraron valores de a_w típicos de frutas secas, alrededor de 0.2. Lo cual no permite la proliferación microbiana e invalida las reacciones químicas, como la reacción de Maillard (Saltmarch y Labuza, 1982; Reid y Fennema, 2010). En cuanto a las muestras con recubrimientos a base de HPMC, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los valores de a_w .

Los valores de contenido de humedad no muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en las rodajas recubiertas y no recubiertas. Con estos resultados se puede observar que la aplicación de un recubrimiento de HPMC no interfiere con la pérdida de agua durante el secado. Esto concuerda con estudios anteriores (García *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015) en donde no se encontraron diferencias en la velocidad de secado de muestras no tratadas y recubiertas con disoluciones a base de polisacáridos. Estos polímeros presentan altos coeficientes de solubilidad del agua, y por esta razón, presentan altas tasas de permeabilidad de vapor de agua y, en consecuencia, baja resistencia a la transferencia de masa durante el secado (Silva *et al.*, 2015).

Tabla 13 Contenido de humedad y actividad de agua de las muestras recubiertas y secas

Tratamiento	Xw (g agua/g de muestra)	aw
Muestra control sin tratamiento	2.8 ± 0.2 ^{ab}	0.193 ± 0.016 ^c
Muestra control sumergida en agua	3.1 ± 0.4 ^a	0.232 ± 0.009 ^b
Ácido cítrico	3.1 ± 0.2 ^a	0.192 ± 0.008 ^c
Extracto de jengibre	2.9 ± 0.6 ^a	0.166 ± 0.009 ^d
Hidroxipropil metilcelulosa	2.4 ± 0.4 ^{bc}	0.288 ± 0.012 ^a
Hidroxipropil metilcelulosa + ácido cítrico	3.4 ± 0.3 ^a	0.2869 ± 0.0105 ^a
Hidroxipropil metilcelulosa + extracto de jengibre	1.9 ± 0.4 ^c	0.285 ± 0.017 ^a

^{a,b,c}... letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos con un 95% de confianza.

4.4.3 Color

Los parámetros de color obtenidos de las rodajas de manzana recubiertas y control después del secado, se presentan en la Tabla 14. Como se puede observar, la aplicación de los tratamientos previos al secado permitió mantener el color de las rodajas más parecido a las frescas ya que dio lugar a muestras con mayor claridad, mayor tono (hacia colores menos rojos) y menor croma (color menos saturado) tras el secado.

Las muestras recubiertas deshidratadas presentaron menor diferencia de color ($p < 0.05$) comparada con la muestra fresca. Además, su índice de blancura es mayor en comparación con las muestras no recubiertas. Excepto las muestras recubiertas con HPMC-J, debido al color inicial del polvo de jengibre. Tal como lo mencionan en un estudio anterior (Perez *et al.*, 2005), donde sugieren que el color de la DFR podría afectar el color final de la muestra recubierta.

El ángulo Hue es una coordenada polar que relaciona los rangos de las coordenadas rectangulares a^* y b^* . La adición de recubrimientos a las rebanadas de manzana si causa cambios en estos valores, ya que los resultados de todos los tratamientos son significativamente diferentes.

En cuanto al índice de blancura, se observa que las muestras con recubrimiento HPMC, HPMC-AC no tienen diferencia significativa. Estos valores se acercan al de las muestras frescas, por lo que se puede decir que durante el proceso de secado el oscurecimiento fue mínimo. Esto se debe a

que, en el caso de los recubrimientos a base de HPMC, el recubrimiento actúa como barrera al oxígeno y como antioxidante. El oxígeno es responsable de muchos procesos de degradación en los alimentos tales como el pardeamiento enzimático y no enzimático. Los recubrimientos de polisacáridos son excelentes barreras al oxígeno, debido a su estructura de red de hidrógenos ordenada y compactada (Bonilla *et al.*, 2012).

Entre los tratamientos de inmersión, las muestras sumergidas en la solución de ácido cítrico presentaron también valores similares a las recubiertas. Lo que era de esperarse debido a que el ácido cítrico es un agente antioxidante efectivo.

Tabla 14 Evaluación de color en rodajas de manzana con recubrimiento antes y después del secado

Tratamiento	L*	C*	h*	ΔE	IB
F	71 ± 2d	12 ± 1e	93 ± 2a	-	67 ± 2a
ST	66 ± 6e	37 ± 4a	80 ± 3f	26 ± 4a	49 ± 4d
CA	72 ± 5cd	34 ± 4b	81 ± 3ef	22 ± 4b	55 ± 6c
AC	78 ± 4 ^{ab}	32 ± 5d	83 ± 3cd	21 ± 5b	61 ± 7b
EJ	74 ± 4c	34 ± 3b	81 ± 3de	23 ± 2b	57 ± 4c
HPMC	79 ± 3a	32 ± 4.cd	87 ± 4b	22 ± 3b	61 ± 4b
HPMC-AC	78 ± 4ab	33 ± 3bcd	84 ± 4c	23 ± 2b	60 ± 5b
HPMC-J	76 ± 4b	37 ± 3a	82 ± 4de	26 ± 3a	56 ± 5c

F: manzana fresca; EJ: extracto de jengibre; CA: control con agua destilada; AC: ácido cítrico; ST: sin tratamiento; HPMC: Hidroxipropil metilcelulosa; HPMC-AC: Hidroxipropil metilcelulosa con ácido cítrico; HPMC-J: Hidroxipropil metilcelulosa con extracto de jengibre.
^{a,b,c}... letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos con un 95% de confianza

4.4.4 Contenido total de fenoles

El contenido total de fenoles (CTF) de las muestras deshidratadas se presentan en la Tabla 15. Los resultados de la rodaja de manzana seca sin tratamiento fue 2.96 ± 0.09 mg GAE/ g de muestra, el cual es significativamente menor ($p < 0.05$) a las muestras recubierta con HPMC, HPMC-AC y la pretratada por inmersión con extracto de jengibre. Los valores de CTF de dichas muestras fueron de 4.09 ± 0.05 , 3.61 ± 0.09 , 3.40 ± 0.14 mg GAE/ g de muestra respectivamente.

Estos resultados sugieren que al aplicar un recubrimiento se presenta un efecto protector, el cual reduce la descomposición de fenoles durante el proceso de secado convectivo. Los resultados del presente estudio son consistentes con los obtenidos por Dehsheikh y Dinani (2018) respecto a la conservación de CFT en rebanadas de plátano recubiertas con Carboximetil celulosa.

Tabla 15 *Contenido total de fenoles de rodajas de manzana después del secado convectivo*

Tratamiento	Contenido total de fenoles (mg GAE/g de muestra)			
Muestra control sin tratamiento	2.96	±	0.09	e
Muestra control sumergida en agua	3.22	±	0.16	d
Ácido cítrico	2.45	±	0.18	f
Extracto de jengibre	3.4	±	0.14	c
Hidroxipropil metilcelulosa	4.09	±	0.05	a
Hidroxipropil metilcelulosa + +ácido cítrico	3.61	±	0.09	b
Hidroxipropil metilcelulosa + extracto de jengibre	2.64	±	0.12	f

^{a,b,c...} letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos con un 95% de confianza

4.5 Evaluación de DFR de HPMC con extractos vegetales

4.5.1 Cinéticas de secado

La pérdida de peso fue monitoreada durante todo el proceso, se tomó en cuenta el contenido inicial promedio de agua de las muestras. Se asumió que la disminución del peso fue debida únicamente a la pérdida de agua, esto permite determinar la humedad de las muestras en cada instante del proceso de secado.

Las curvas de secado experimental se obtuvieron graficando el contenido de humedad base seca en función del tiempo. Se obtuvieron las ecuaciones polinómicas de estas curvas y posteriormente se aplicó el método de derivación geométrica para obtener los valores de rapidez de secado. Las curvas de rapidez de secado se graficaron en función del contenido de humedad. Para comparar con todos los pretratamientos se calculó la razón de humedad (RM), este valor se presentó frente al tiempo de proceso en minutos y se obtuvieron las curvas de secado adimensionalizadas para todas las muestras.

$$RM = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{Ecuación 4})$$

M= contenido de humedad

Me= contenido de humedad de equilibrio

M0= contenido de humedad inicial

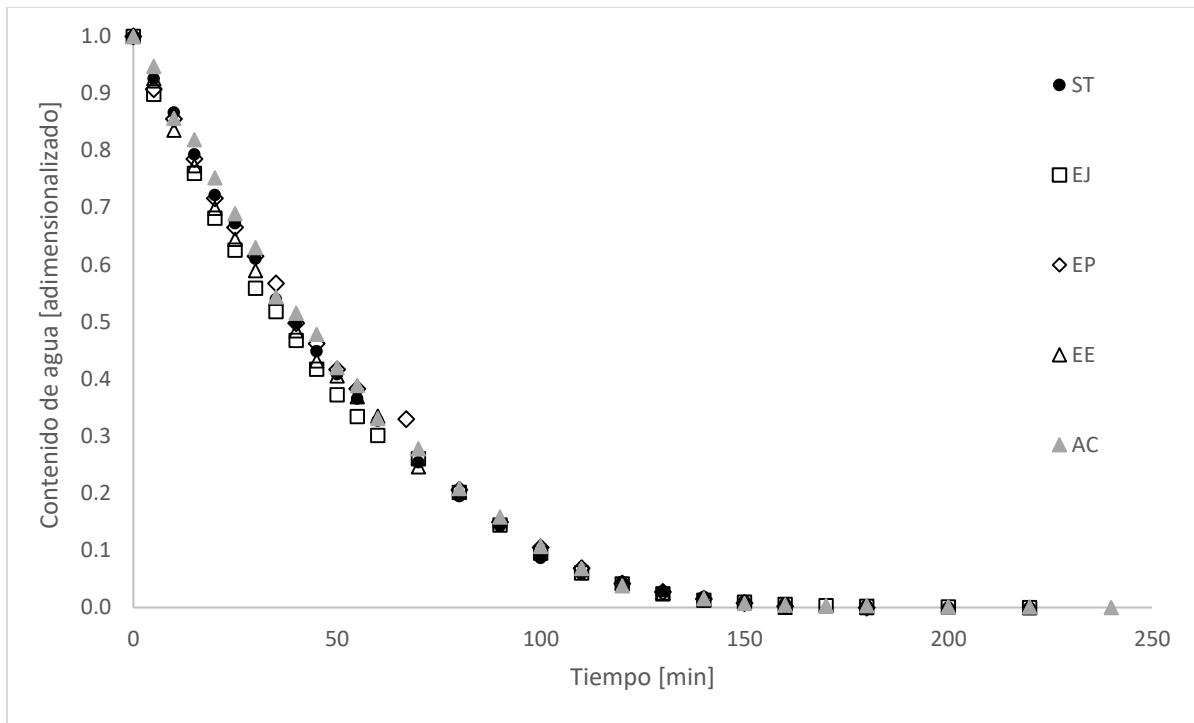
El comportamiento cinético durante el secado convectivo de rodajas de manzana recubiertas con HPMC fue diferente al de las muestras control sin tratamiento. En la Figura 13 se observan las curvas de secado para las muestras impregnadas con extractos de jengibre, perejil y epazote (a) y para las muestras recubiertas con HPMC y la combinación de HPMC con los extractos vegetales (b).

Las curvas de secado para las rodajas de manzana impregnadas con extractos vegetales, recubiertas con HPMC y las muestras control, a la misma temperatura y velocidad de aire, se superponen. Este resultado puede estar relacionado con la naturaleza del HPMC, el cual presenta bajas propiedades de barrera a la humedad debido a su alta polaridad. Este polímero es soluble en agua, por esta razón, presenta altas tasas de permeabilidad de vapor de agua y, en consecuencia, baja resistencia a la transferencia de masa durante el secado. Se encontraron resultados similares en el secado de piña y papaya recubiertas con pectina (García *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015).

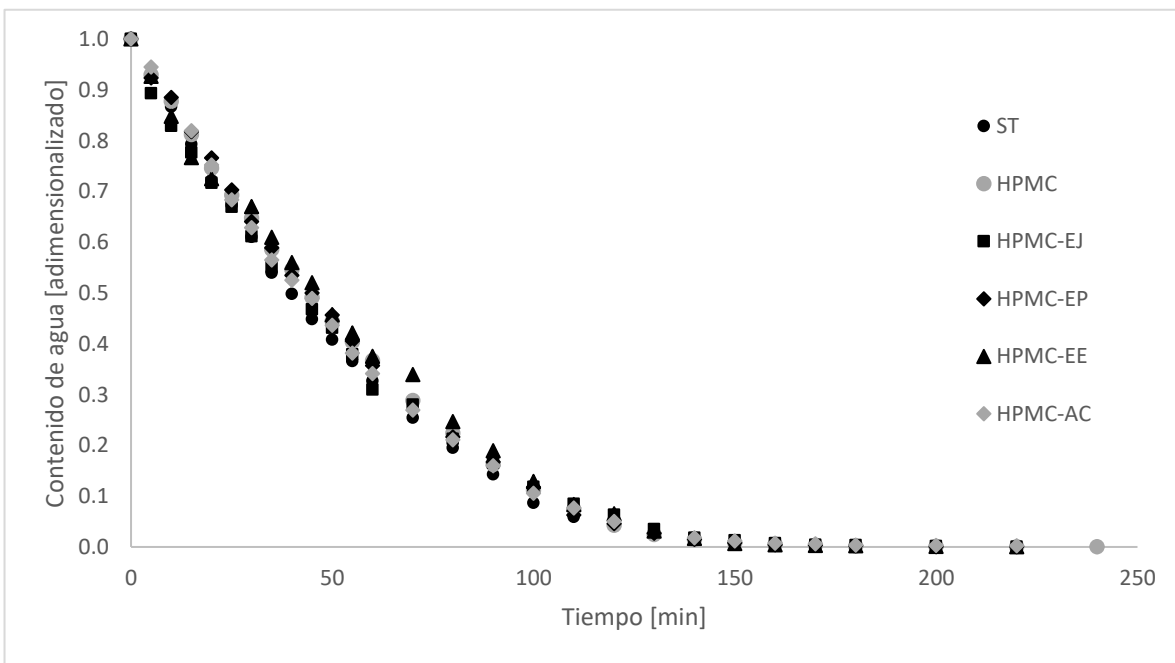
Las muestras alcanzan la humedad de equilibrio en el rango de 180 a 240 minutos de secado. Las muestras impregnadas con extractos de epazote y perejil llegan a peso constante en el minuto 180. Las muestras sin tratamiento, y las recubiertas con HPMC-EJ, HPMC-EP y HPMC-EE llegan en el minuto 220. Las recubiertas con HPMC, HPMC-AC y las impregnadas con AC alcanzan la humedad de equilibrio en el minuto 240.

El hecho de que las muestras alcancen el peso constante hasta los 240 minutos puede deberse a que se desarrolla una capa en la superficie de la rodaja, que disminuye la velocidad de secado. Y aunque el HPMC presente altas tasas de permeabilidad al vapor de agua, el tiempo de secado es mayor que las muestras sin tratamiento. Además, en el recubrimiento se presenta un efecto de reticulación inducido por la adición de ácido cítrico, lo que provoca mejores propiedades mecánicas pero disminuye la permeabilidad al agua (Ganiari, Choulitoudi y Oreopoulou, 2017). El tiempo de

secado de las muestras con HPMC-EJ, HPMC-EP y HPMC-EE puede ser menor por que las propiedades del recubrimiento se ven afectadas por el extracto utilizado.



a)



b)

Figura 13 Curvas de secado para rodajas de manzana con diferentes pretratamientos

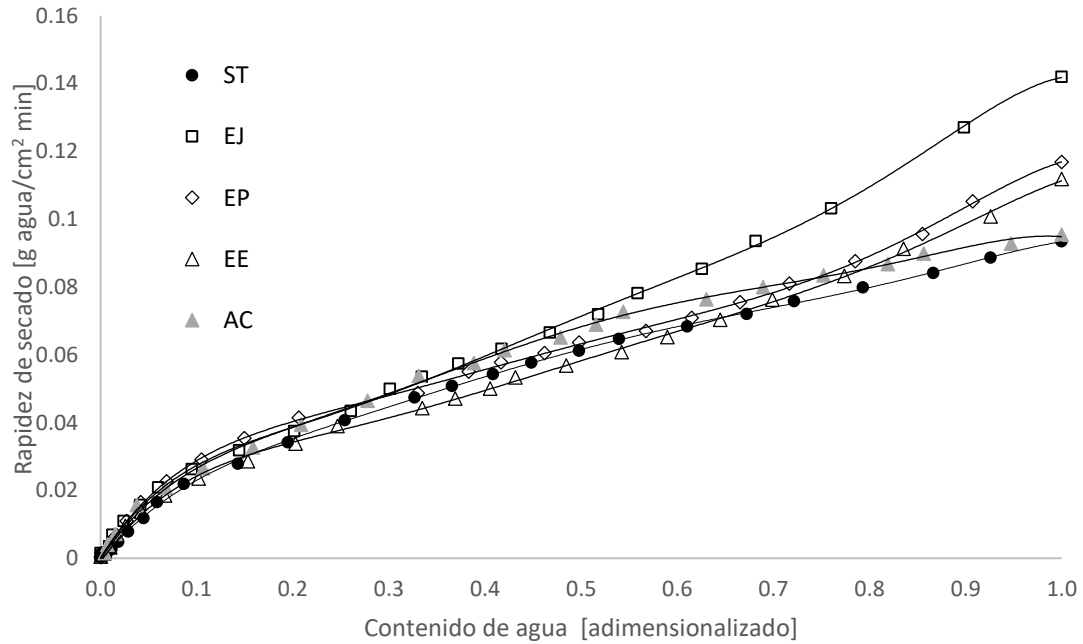
Ganiari, Choulitoudi y Oreopoulou (2017) citaron a Bifoni quien, en su investigación, utilizó dos ecotipos de hojas de murta con un perfil de flavonoides diferente. La adición de estos extractos en películas de carboximetil celulosa modificó la permeabilidad al vapor de agua y la permeabilidad a los gases. El hidrogeno y las interacciones covalentes entre la red del polímero y los compuestos polifenólicos limitan la disponibilidad de grupos de hidrógeno para formar enlaces hidrofílicos con el agua y, posteriormente, conducen a una disminución en la afinidad del recubrimiento al agua.

En general, el efecto de los ácidos fenólicos incorporados en los recubrimientos se rige por su capacidad para formar enlaces de hidrógeno y otras interacciones entre los grupos carboxilo y los grupos carboxilo del polímero, promoviendo así un efecto de reticulación (Ganiari, Choulitoudi y Oreopoulou, 2017).

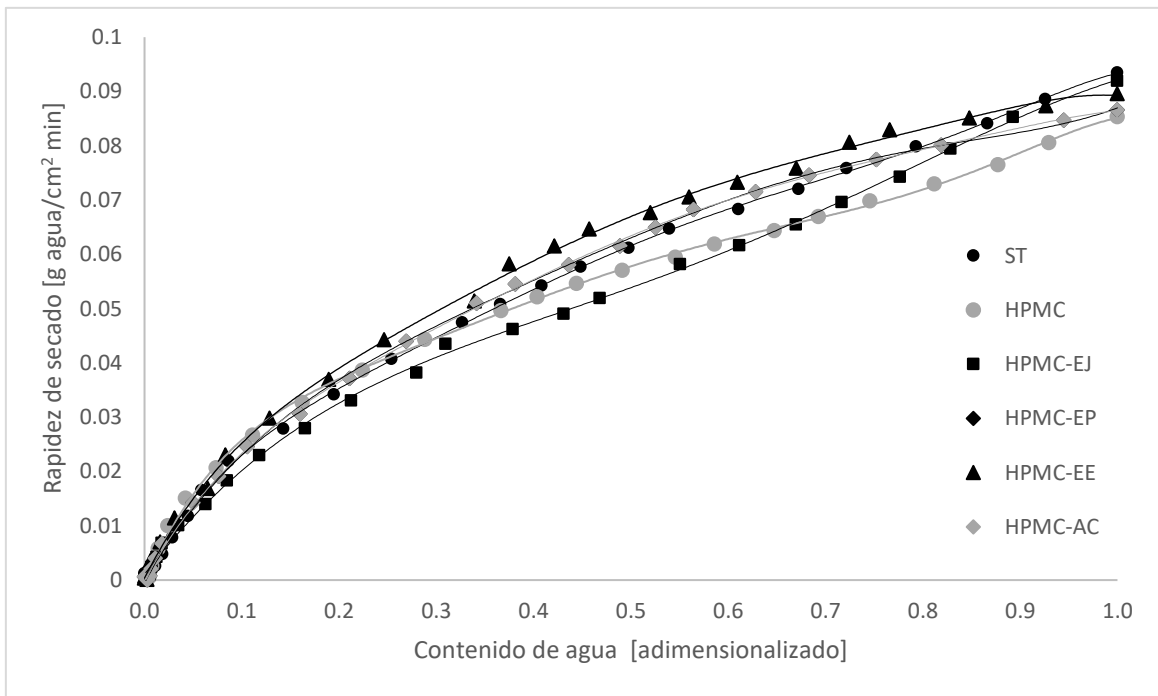
En la Figura 14 se presentan las curvas de rapidez de secado en función del contenido de humedad. Los resultados muestran que los procesos de secado de las muestras con los diferentes pretratamientos ocurrieron en el período de velocidad decreciente.

La mayoría de los alimentos, al ser productos higroscópicos no muestran período de velocidad constante (Schultz *et al.*, 2007). La deshidratación de casi todos los productos biológicos tiene lugar en el periodo de velocidad decreciente. Los procesos de secado que ocurren en el periodo de velocidad decreciente indican que la difusión es el mecanismo físico dominante que controla el movimiento de humedad en las rodajas de manzana. En el periodo de velocidad decreciente la migración de agua desde el interior a la superficie del producto se controla por difusión molecular, donde el agua se mueve según el gradiente de contenido de humedad de las zonas con mayor humedad a las zonas con valores más bajos (Beigi, 2016).

En la Figura 14 (a) se presenta la comparación de las curvas de rapidez de secado de las muestras sin tratamiento y las impregnadas con extractos de jengibre, perejil y epazote, así como las impregnadas con ácido cítrico. En ningún caso se observa período de calentamiento inicial y período de velocidad constante. Pero, si se observan dos períodos de velocidad decreciente y al final de la curva, la zona de equilibrio higroscópico. Los límites de estos periodos se denotan por cambios en la tendencia de la curva.



a)



b)

Figura 14 Curvas de rapidez de secado en función del contenido de humedad para rodajas de manzana con diferentes pretratamientos

Las curvas de las muestras con EJ, EP y EE presentan pendientes más pronunciadas al comienzo, pero esto disminuye al continuar el proceso de secado. La razón es que las rodajas de manzana contienen una alta cantidad de humedad y, por lo tanto, la velocidad de difusión de la humedad es alta al comienzo del proceso. Sin embargo, a medida que el proceso continúa, el nivel de humedad de las rodajas se reduce. La difusión de la humedad desde las partes internas de las rebanadas a la superficie y al ambiente disminuye y en consecuencia la tasa de transporte de humedad decrece. Dehsheikh y Dinani (2018) presentaron resultados similares en rebanadas de plátano.

En la Figura 14 (b) se observan las curvas de rapidez de secado de las muestras recubiertas con HPMC y HPMC con extractos vegetales y ácido cítrico. Estas curvas se comparan con la de la muestra control sin tratamiento. Las curvas de todos los pretratamientos no presentan periodo de calentamiento inicial ni de velocidad constante. Sin embargo, presentan dos periodos de velocidad decreciente y la zona de equilibrio higroscópico. En el cual, la relación entre el agua y el sólido es más fuerte.

4.5.3 Contenido de fenoles totales

Los polifenoles presentes en las manzanas son importantes porque contribuyen en la calidad sensorial de las frutas frescas y procesadas. También son reconocidos por la promoción de la salud por sus propiedades antioxidantes. Por lo anterior, es necesario disminuir la pérdida de estos compuestos durante el secado convectivo.

El contenido total de fenoles, determinado para las muestras deshidratadas de los nueve tratamientos, se observan en la Figura 15. El CTF de las muestras frescas fue 1.472 ± 0.015 mg EAG/g de muestra. Este resultado se aproxima a los valores obtenidos en otros estudios (Fu *et al.*, 2011; Vega *et al.*, 2012; Francini y Sebastiani, 2013).

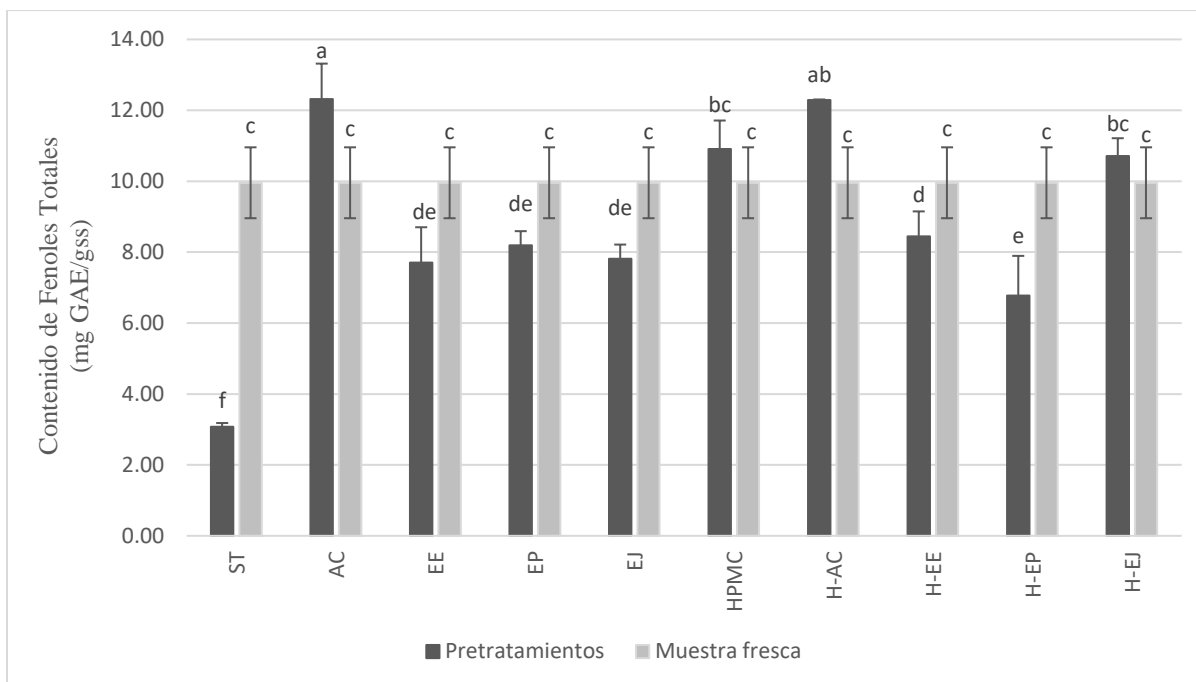


Figura 15 Contenido de fenoles totales en rodajas de manzana deshidratadas con los diferentes pretratamientos.

Las barras de error indican la desviación estándar de las medias. Las letras representan diferencias significativas entre los tratamientos con un 95% de confianza

El CTF de las rodajas sin tratamiento se redujo aproximadamente en un 70% respecto al de las muestras frescas después del secado convectivo. Esta disminución se ha reportado en otras investigaciones, por ejemplo, al deshidratar pimiento rojo, kiwi, pomelo y cerezas el CTF, antocianinas y ácido ascórbico se reduce significativamente (Wojdyło *et al.*, 2014; Rahman *et al.*, 2018). La pérdida de fenoles puede deberse al proceso oxidativo y la larga exposición a la degradación térmica que ocurre durante el secado.

Las rodajas impregnadas con EE, EP, EJ y con las DFR de H-EE y H-EP no muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) en el CTF. El contenido de fenoles se redujo aproximadamente 20% respecto a la muestra fresca. Aunque hubo pérdida de estos compuestos, la reducción no fue tan severa como en las muestras sin tratamiento. Esto puede deberse a que los fenoles de los extractos se adicionan a las rodajas.

En el caso de las rodajas recubiertas con HPMC, H-AC y H-EJ se observa un mayor contenido de fenoles totales respecto a la muestra fresca. Estos recubrimientos con HPMC evitaron la

degradación de los fenoles durante el secado debido a que actúa como una barrera y minimiza el contacto de la rodaja de manzana con el oxígeno (García *et al.*, 2014).

4.5.4 Textura

La deshidratación provoca cambios en la microestructura de los tejidos de frutas y vegetales. Estos cambios están relacionados con la pérdida de agua de la parte interna hacia la superficie de la muestra, posiblemente causando rigidez, el deterioro y la alteración de las paredes celulares, o incluso un colapso de los tejidos celulares.

El efecto del secado y de los pretratamientos aplicados en rodajas de manzana sobre dureza, crujibilidad y crocancia se presentan en la Tabla 16. En esta tabla también se presenta el contenido de humedad y a_w de las muestras al momento de realizar la prueba de compresión. La dureza, crujibilidad y crocancia son mayores en las muestras recubiertas con HPMC en combinación con los extractos de epazote y perejil. Benbettaïeb *et al.* (2017) indica que la interacción entre los agentes activos agregados y los materiales formadores de película pueden afectar posteriormente las propiedades mecánicas y estructurales de los recubrimientos resultantes.

Tabla 16 Valores medios de la textura instrumental

	Crujibilidad		Crocancia	Dureza (N)		% Humedad (bh)		a_w					
ST	0.09	± 0.06	^b	4.3	± 1.2	^g	0.67	± 0.16	^d	5.3	± 0.6	^{abc}	0.301
AC	0.10	± 0.05	^b	4.0	± 1.8	^g	0.6	± 0.3	^d	4.06	± 0.16	^{de}	0.319
EE	0.11	± 0.08	^b	5.0	± 1.8	^{fg}	0.8	± 0.2	^d	5.9	± 0.8	^a	0.317
EP	0.171	± 0.118	^b	5	± 2	^{fg}	0.8	± 0.3	^d	5.0	± 0.4	^{bc}	0.336
EJ	0.14	± 0.08	^b	6	± 2	^{ef}	1.0	± 0.4	^c	4.7	± 0.4	^{cd}	0.320
H	0.18	± 0.09	^b	7	± 3	^{de}	1.3	± 0.3	^b	4.6	± 0.4	^{cd}	0.329
H-EE	0.5	± 0.3	^a	12	± 3	^a	1.7	± 0.5	^a	5.4	± 0.4	^{abc}	0.335
H-EP	0.4	± 0.3	^a	11	± 3	^{ab}	1.7	± 0.3	^a	4.8	± 0.4	^{cd}	0.321
H-EJ	0.4	± 0.3	^a	10	± 4	^{bc}	1.4	± 0.4	^b	3.6	± 0.4	^e	0.338
H-AC	0.19	± 0.15	^b	8.6	± 1.4	^{cd}	1.2	± 0.2	^{bc}	5.7	± 0.3	^{ab}	0.329

ST: sin tratamiento; AC: ácido cítrico; EE: extracto de epazote; EP: extracto de perejil; EJ: extracto de jengibre; H: hidroxipropil metilcelulosa;

^{a,b,c}... letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos con un 95% de confianza

En los tratamientos AC, EE, EP y las muestras ST la firmeza es menor de 1 N. Los resultados indican que en estos tratamientos se produjo un mayor ablandamiento de los tejidos. Vega *et al.*, (2012) menciona que el ablandamiento de los tejidos concuerda con la reducción de fuerza de la adhesión celular y el número de espacios intercelulares que observó en su análisis de microestructura.

En cuanto a crujibilidad se identifican dos grupos con diferencias significativas. Por un lado, los tratamientos de HPMC con EE, EP y EJ, los cuales tienen mayor valor de crujibilidad. Por otro lado, el resto de los pretratamientos, en los que los valores de crujibilidad son menores de 0.2. En los dos casos la crujibilidad es baja en comparación con la crujibilidad de chips de manzana y papas reportadas por Salvador *et al.* y Xiao *et al.*, (2009,2018), valores que van de 4 a 74 y de 2.7 a 8.7 respectivamente.

4.5.5 Rehidratación

El efecto de los diferentes pretratamientos de secado sobre la capacidad de rehidratación de las rodajas de manzana se muestra en la Figura 16. La capacidad de rehidratación de las rodajas de manzana deshidratadas alcanza su valor más alto después de una hora. Se han reportado valores de rehidratación como más altos a los 16 minutos, valores de entre 1.5 y 2 (Huang *et al.*, 2011), en chips de manzana. En otra investigación con chips de pera, se reportan valores de CR de entre 2.5 a 3.5 a los 60 minutos (Yi *et al.*, 2016). Xiao *et al.* (2018) reporta valores de CR entre 4.5 y 5, estos valores concuerdan con los resultados obtenidos en este trabajo.

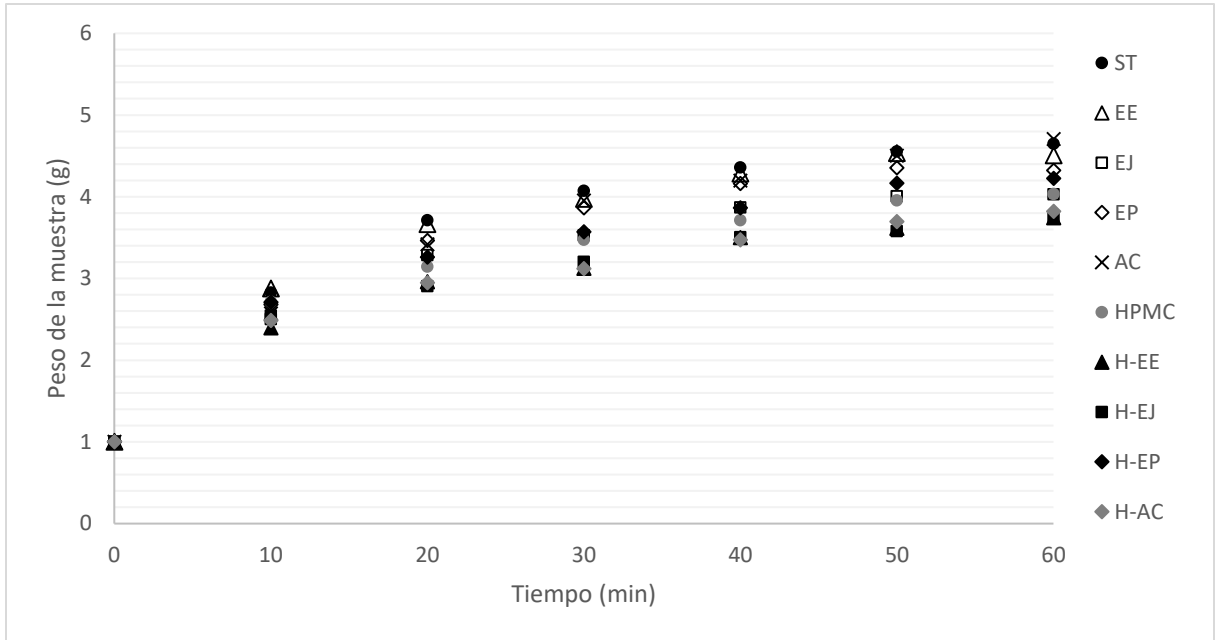


Figura 16 Capacidad de rehidratación de rodajas de manzana con diferentes pretratamientos

Los resultados más altos de CR se obtuvieron en las rodajas impregnadas con AC, EE, EP y sin tratamiento. Esto puede deberse a que la porosidad de la superficie es homogénea, lo que permite absorber una gran cantidad de agua durante la rehidratación. Las rodajas recubiertas con H-EJ, H-AC y EJ presentan valores de CR mínimos. Estas muestras tienen una DSS mayor que los otros pretratamientos y por lo tanto menor número de poros, lo que impide la absorción de agua.

La cinética de rehidratación de una fruta seca está fuertemente relacionada con la porosidad. El llenado de los capilares y cavidades cerca de la superficie produce una saturación rápida. El agua se infiltra fácilmente durante la inmersión, lo que genera una tasa de rehidratación más rápida. Por el contrario, durante el secado puede presentarse daño celular irreversible y un desordenamiento dentro del material, lo que provoca la pérdida de integridad celular y la contracción de las vías capilares (Yi *et al.*, 2016).

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

Se analizó el efecto de pretratamiento con extractos vegetales y recubrimiento de HPMC sobre la calidad de rodajas de manzana secadas por convección. De los extractos de ocho vegetales analizados, los de epazote, jengibre y perejil tuvieron mayor relevancia en la determinación del color de las muestras deshidratadas. Esto se debe a la capacidad antioxidante de los extractos, los cuales tienen alto contenido de compuestos fenólicos y gingeroles en el caso del jengibre.

Durante el secado por aire caliente, la transferencia de agua desde el producto al exterior transcurre a velocidad decreciente, diferenciándose dos etapas en el proceso. Esto indica que dicha transferencia está gobernada por las características intrínsecas de la muestra y la resistencia que ésta ofrece a su difusión. Los recubrimientos de HPMC no interfieren en el proceso de pérdida de agua, esto debido a sus valores de permeabilidad al agua.

Al combinarse con extractos los recubrimientos de HPMC, H-EE, H-EJ, H-EP y H-AC no afectan la eficiencia del secado. Las muestras recubiertas con HPMC, H-AC, H-EJ y los impregnados con AC presentaron mayor contenido de fenoles totales, lo que demuestra que tienen potencial como protección de nutrientes durante el secado. Además, en las muestras con estos recubrimientos se observa mejor color ya que presentan mayor índice de blancura. Los recubrimientos con base de HPMC presentan mayor dureza, crujibilidad y crocancia en comparación con las muestras que solo están impregnadas con extractos.

Esta investigación demostró que los extractos vegetales podrían funcionalizar recubrimientos comestibles de HPMC para conservar la calidad en rodajas de manzana secadas por convección. Sin embargo, se necesitan más estudios de análisis sensorial, efecto antimicrobiano y estabilidad de color durante el almacenamiento.

REFERENCIAS

- Akhtar, M. J. *et al.* (2012) “Antioxidant capacity and light-aging study of HPMC films functionalized with natural plant extract”, *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 89(4), pp. 1150–1158. doi: 10.1016/j.carbpol.2012.03.088.
- Andueza, I. y Ávila, G. (2000) “Caracterización física de hidroxipropilmetilcelulosa con potencial aplicación oftalmológica: pH, tensión superficial, característica de la película”, *Revista de la Sociedad Química de México*, 44(003), pp. 224–228.
- Badui Dergal, S. (2006) *Química de los alimentos, Química de los alimentos*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Barragán Iglesias, J. (2016) *Efecto de pretratamientos sobre la textura de papaya (Carica Papaya L.) variedad Maradol secada por convección (Tesis de maestría)*. Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/258.
- Barros, L. *et al.* (2013) “Bioactivity and chemical characterization in hydrophilic and lipophilic compounds of *Chenopodium ambrosioides* L.”, *Journal of Functional Foods*, 5(4), pp. 1732–1740. doi: 10.1016/j.jff.2013.07.019.
- Beigi, M. (2016) “Hot air drying of apple slices: dehydration characteristics and quality assessment”, *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*. Springer Berlin Heidelberg, 52(8), pp. 1435–1442. doi: 10.1007/s00231-015-1646-8.
- Benbettaïeb, N., Karbowiak, T. y Debeaufort, F. (2017) “Bioactive edible films for food applications: Influence of the bioactive compounds on film structure and properties”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 8398(October), pp. 1–17. doi: 10.1080/10408398.2017.1393384.
- Bonilla, J. *et al.* (2012) “Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality : Possibilities and limitations”, *Journal of Food Engineering*. Elsevier Ltd, 110(2), pp. 208–213. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.034.

Bravo, K. (2016) “Propiedades de frutas de especies andinas sobre blancos antienvjecimiento”, pp. 130–191.

Cabrera, L. E. P. (2003) *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad blanquilla) mínimamente procesada*. Universidad Politécnica de Valencia.

Campeanu, G., Neata, G. y Darjanschi, G. (2009) “Chemical composition of the fruits of several apple cultivars growth as biological crop”, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), pp. 161–164.

Canizares, D. y Mauro, M. A. (2015) “Enhancement of Quality and Stability of Dried Papaya by Pectin-Based Coatings as Air-Drying Pretreatment”, *Food and Bioprocess Technology*, 8(6), pp. 1187–1197. doi: 10.1007/s11947-015-1483-2.

Cárdenas-Hernández, J. y Fischer, G. (2013) “Clasificación botánica y morfología de manzano, peral, duraznero y ciruelo”, *Los frutales caducifolios en Colombia*, (May 2014), pp. 21–29.

Carriel, J. M. *et al.* (2014) “Distribución, localización e inhibidores de las Polifenol Oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento.”, *Ciencia y Tecnología*, 7(1), pp. 23–31. doi: 1390-4051.

Cebulj, A. *et al.* (2017) “Importance of metabolite distribution in apple fruit”, *Scientia Horticulturae*. Elsevier B.V., 214, pp. 214–220. doi: 10.1016/j.scienta.2016.11.048.

Chiralt, A. *et al.* (2001) “Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect”, *Journal of Food Engineering*, 49(2–3), pp. 129–135. doi: 10.1016/S0260-8774(00)00203-X.

Civille Gail vance, S. A. S. (1973) “Training a texture profile panel”, *Journal of Texture Studies*, 4, pp. 204–223.

Contreras Monzón, C. (2010) *Influencia del metodo de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas (Tesis de doctorado)*. Universidad Politécnica de Valencia. doi: 10.4995/Thesis/10251/1932.

Cortes, M. y Chiralt, A. (2008) “Cinética de los cambios de color en manzana deshidratada por aire fortificado con vitamina E”, *Revista de la facultad quimica farmaceutica*, 15(1), pp. 8–16.

Dehsheikh, F. N. y Dinani, S. T. (2018) “Ultrasonics - Sonochemistry Coating pretreatment of banana slices using carboxymethyl cellulose in an ultrasonic system before convective drying”, *Ultrasonics - Sonochemistry*. Elsevier, (November), pp. 0–1. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.12.018.

Francini, A. y Sebastiani, L. (2013) “Phenolic compounds in apple (*Malus x domestica* borkh.): Compounds characterization and stability during postharvest and after processing”, *Antioxidants*, 2(3), pp. 181–193. doi: 10.3390/antiox2030181.

Fu, L. *et al.* (2011) “Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits”, *Food Chemistry*, 129(2), pp. 345–350. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.04.079.

Ganiari, S., Choulitoudi, E. y Oreopoulou, V. (2017) “Trends in Food Science & Technology Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food”, *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier Ltd, 68, pp. 70–82. doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.009.

Garcia, C. C. *et al.* (2014) “Influence of edible coating on the drying and quality of papaya (*Carica papaya*)”, *Food and Bioprocess Technology*, 7(10), pp. 2828–2839. doi: 10.1007/s11947-014-1350-6.

Geankoplis, C. J. (1998) “Curvas de velocidad de secado”, *Procesos de transporte y operaciones unitarias*, pp. 596–601.

Gómez Castellanos, J. R. (2008) “Epazote (*Chenopodium ambrosioides*). Revisión a sus características morfológicas, actividad farmacológica, y biogénesis de su principal principio activo, ascaridol”, *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, 7(1), pp. 3–9.

Herráiz, E. (2009) *Jengibre, GUÍA DE PLANTAS MEDICINALES DEL MAGRE*. Disponible en: file:///C:/Users/INVITA~1/AppData/Local/Temp/254928-343917-1-PB.pdf.

Huang, L. L. *et al.* (2011) “Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips”, *Journal of Food Engineering*. Elsevier Ltd, 103(3), pp. 279–284. doi:

10.1016/j.jfoodeng.2010.10.025.

Maltini, E. *et al.* (2003) “Water activity and the preservation of plant foods”, *Food Chemistry*, 82(1), pp. 79–86. doi: 10.1016/S0308-8146(02)00581-2.

Manzoor, M. *et al.* (2012) “Variations of antioxidant characteristics and mineral contents in pulp and peel of different apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from Pakistan”, *Molecules*, 17(1), pp. 390–407. doi: 10.3390/molecules17010390.

Megías-Pérez, Gramboa-Santos, Sorcia AC, M. A. y V. (2008) “Evaluación de la calidad en frutas deshidratadas comerciales comunes y exóticas”.

Méndez-lagunas, L. *et al.* (2017) “Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content”, 230, pp. 174–181. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.010.

Milda Embuscado, K. C. Hu. (2009) *Edible Films and Coatings for Food Applications*. doi: 10.1007/978-0-387-92824-1.

Ministerio de Agricultura, A. y M. A. (2013) “Manzana”, pp. 257–258. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/manzana_tcm7-315337.pdf.

Moreiras, Olga; Ángeles, Carbajal; Luisa, Cabrera; Carmen, C. (2013) *Tablas de composición de alimentos*, *Fundación Española de Nutrición*. Disponible en: <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/perejil.pdf>.

Munguia, R., Cuevas, Z. y Martinez, A. (2012) “Perejil-Compuestos-Quimicos-Aplicaciones”, *11 Ene 2010 - 7:58 PM*, 11(11), pp. 1–2, 6. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/index.htm>.

Ortega-Ramirez, L. A. *et al.* (2014) “Potential of medicinal plants as antimicrobial and antioxidant agents in food industry: A hypothesis”, *Journal of Food Science*, 79(2). doi: 10.1111/1750-3841.12341.

Pastor, C. (2010) “Recubrimientos Comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa:

caracterización y aplicación.”, p. 219. doi: 10.4995/Thesis/10251/8534.

Pastor, C. *et al.* (2013) “Food Hydrocolloids Physical and antioxidant properties of chitosan and methylcellulose based films containing resveratrol”, *Food hydrocolloids*. Elsevier Ltd, 30(1), pp. 272–280. doi: 10.1016/j.foodhyd.2012.05.026.

Perez-Gago, M. B. *et al.* (2005) “Effect of whey protein- and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples”, *Postharvest Biology and Technology*, 36(1), pp. 77–85. doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.10.009.

Rahman, N. F. A. *et al.* (2018) “Effects of drying methods on total phenolic contents and antioxidant capacity of the pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier, 50(November 2017), pp. 217–225. doi: 10.1016/j.ifset.2018.01.009.

Reid, D. y Fennema, O. (2010) “Agua y Hielo”, *Química de los alimentos*, pp. 17–82.

Rosenthal, A. j. (2001) “Textura de alimentos. Medida y percepción”, p. 299.

Safdar, M. N. *et al.* (2017) “Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques”, *Journal of Food and Drug Analysis*. Elsevier Ltd, 25(3), pp. 488–500. doi: 10.1016/j.jfda.2016.07.010.

Saltmarch, M. y Labuza, T. P. (1982) “Nonenzymatic browning via the Maillard reaction in foods”, *Diabetes*, 31(Suppl. 3II), pp. 29–36. doi: 10.2337/diab.31.3.S29.

Salvador, A. *et al.* (2009) “Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis”, *LWT - Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 42(3), pp. 763–767. doi: 10.1016/j.lwt.2008.09.016.

Sánchez, R. *et al.* (sin fecha) “Uso de la HidroxiPropilMetilCelulosa (HPMC) en liberación modificada de fármacos”. doi: 10.1002/cne.

Sant’Anna, V. *et al.* (2013) “Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review”, *Dyes and Pigments*. Elsevier Ltd, 98(3), pp. 601–608. doi: 10.1016/j.dyepig.2013.04.011.

Sapper, M. y Chiralt, A. (2018) “Starch-Based Coatings for Preservation of Fruits and Vegetables”. doi: 10.3390/coatings8050152.

Schultz, E. L. *et al.* (2007) “Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices”, *Journal of Food Engineering*, 78(3), pp. 1103–1110. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.12.024.

Semwal, R. B. *et al.* (2015) “Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger”, *Phytochemistry*. Elsevier Ltd, 117, pp. 554–568. doi: 10.1016/j.phytochem.2015.07.012.

Silva, K. S. *et al.* (2015) “Effects of Edible Coatings on Convective Drying and Characteristics of the Dried Pineapple”, *Food and Bioprocess Technology*, 8(7), pp. 1465–1475. doi: 10.1007/s11947-015-1495-y.

Soares, M. H. *et al.* (2017) “Chemical Composition, Antibacterial, Schistosomicidal, and Cytotoxic Activities of the Essential Oil of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants (Chenopodiaceae)”, *Chemistry and Biodiversity*, 14(8). doi: 10.1002/cbdv.201700149.

Song, K. *et al.* (2015) “Five new bioactive compounds from *Chenopodium ambrosioides*”, *Journal of Asian Natural Products Research*, 17(5), pp. 482–490. doi: 10.1080/10286020.2015.1042872.

Srinivasan, K. (2017) “Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials”, *PharmaNutrition*, 5(1), pp. 18–28. doi: 10.1016/j.phanu.2017.01.001.

Sturm, B., Nunez Vega, A. M. y Hofacker, W. C. (2014) “Influence of process control strategies on drying kinetics, colour and shrinkage of air dried apples”, *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 62(2), pp. 455–460. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.09.056.

Szczesniak, A. S. (2002) “Texture is a sensory property”, *Food Quality and Preference*, 13(4), pp. 215–225. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8.

Talón, E. *et al.* (2017) “Release of polyphenols from starch-chitosan based films containing thyme extract”, *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 175, pp. 122–130. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.07.067.

Vega-Gálvez, A. *et al.* (2012) “Effect of temperature and air velocity on drying kinetics,

antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (var. Granny Smith) slices”, *Food Chemistry*, 132(1), pp. 51–59. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.10.029.

Venanzi, L. (2014) “Estudio de métodos de extracción de compuestos fenólicos de orujos provenientes de vinificación de uvas cv Malbec”, pp. 14–16. Disponible en: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/6467/tesis-de-grado.-liliana-h.pdf.

Villalobos-Delgado, L. H. *et al.* (2017) “Potential application of epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) as natural antioxidant in raw ground pork”, *LWT - Food Science and Technology*, 84, pp. 306–313. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.076.

Wilpiszewska, K. y Czech, Z. (2014) “Citric acid modified potato starch films containing microcrystalline cellulose reinforcement – properties and application”, pp. 660–667. doi: 10.1002/star.201300093.

Wojdyło, A. *et al.* (2014) “Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries”, *Food and Bioprocess Technology*, 7(3), pp. 829–841. doi: 10.1007/s11947-013-1130-8.

Wu, J. *et al.* (2007) “Chemical compositional characterization of some apple cultivars”, *Food Chemistry*, 103(1), pp. 88–93. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.07.030.

Xiao, M. *et al.* (2018) “Modification of Cell Wall Polysaccharides during Drying Process Affects Texture Properties of Apple Chips”, *Journal of Food Quality*, 2018. doi: 10.1155/2018/4510242.

Yi, J. *et al.* (2016) “Impacts of Pre-Drying Methods on Physicochemical Characteristics, Color, Texture, Volume Ratio, Microstructure and Rehydration of Explosion Puffing Dried Pear Chips”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), pp. 863–873. doi: 10.1111/jfpp.12664.

Yoruk, R. y Marshall, M. M. R. (2003) “Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review”, *Journal of Food Biochemistry*, 27(352), pp. 361–422. doi: 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x.

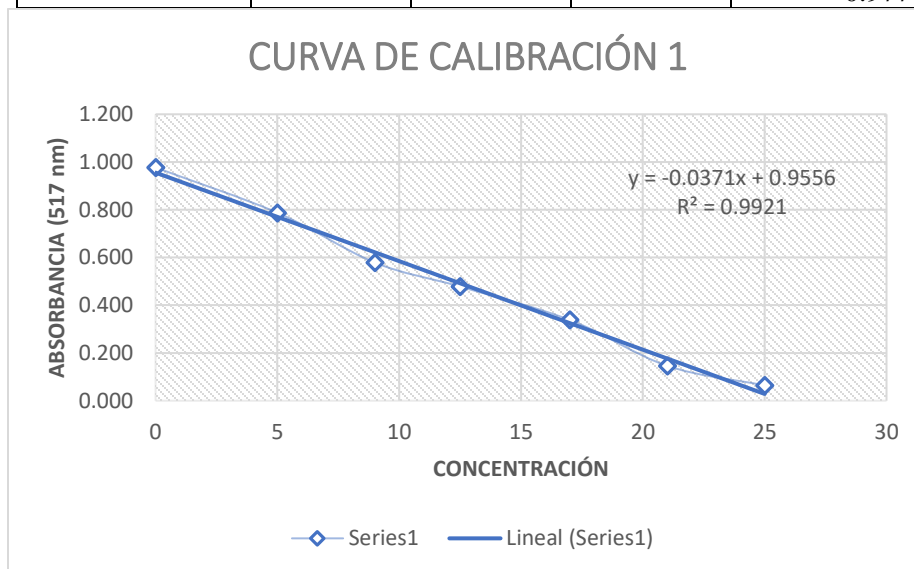
ANEXOS

VALORES DE PARÁMETROS DE COLOR DESPUÉS DE SUMERGIRLOS EN EXTRACTOS, APARTADO 4.1

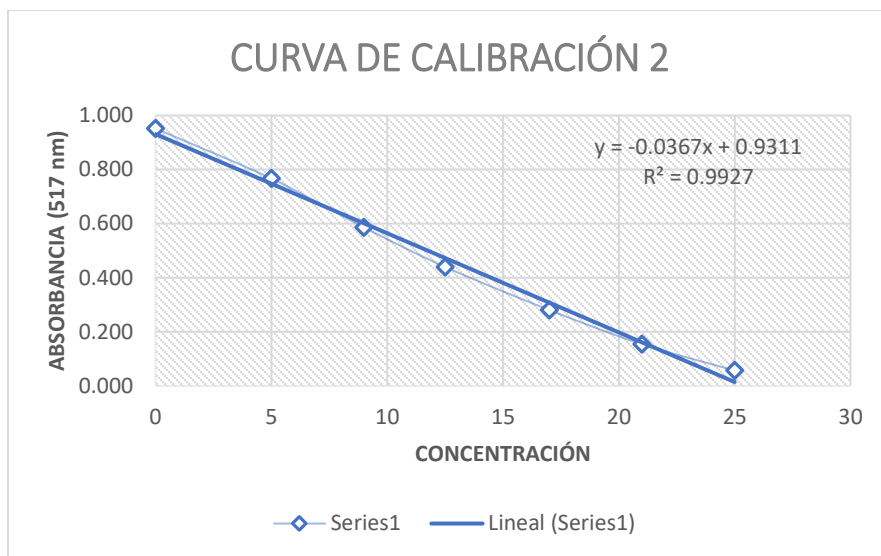
Muestra	Parámetro	Rodaja fresca	Valores después de sumergir en extracto		
Cilantro	L*	83.78	76.77	74.72	72.20
	a*	2.38	6.49	8.47	10.26
	b*	23.90	26.61	36.29	44.56
Epazote	L*	83.49	77.99	76.58	79.38
	a*	4.18	3.89	4.91	5.62
	b*	31.08	43.39	41.45	41.11
Perejil	L*	83.04	79.89	80.74	79.62
	a*	3.37	4.07	2.38	2.55
	b*	31.10	42.84	44.23	43.58
Hierba buena	L*	82.31	71.01	69.92	67
	a*	1.50	9.09	10.65	9.79
	b*	27.88	44.83	47.89	43.44
Jengibre	L*	83.50	81.2	80.94	80.91
	a*	2.29	3.56	4.33	3.25
	b*	29.43	36.84	37.3	36.28
Tomillo	L*	83.40	78.72	78.93	78.47
	a*	1.69	5.58	5.31	5.84
	b*	25.39	40.59	39.84	40.37
Orégano	L*	80.25	68.74	66.58	69.79
	a*	3.84	12.61	13.39	12.08
	b*	29.15	45.53	46.33	45.01
Mejorana	L*	84.39	71.46	69.78	70.07
	a*	0.77	10.29	10.88	11.12
	b*	24.35	45.39	47.15	48.33

CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL APARTADO 4.2

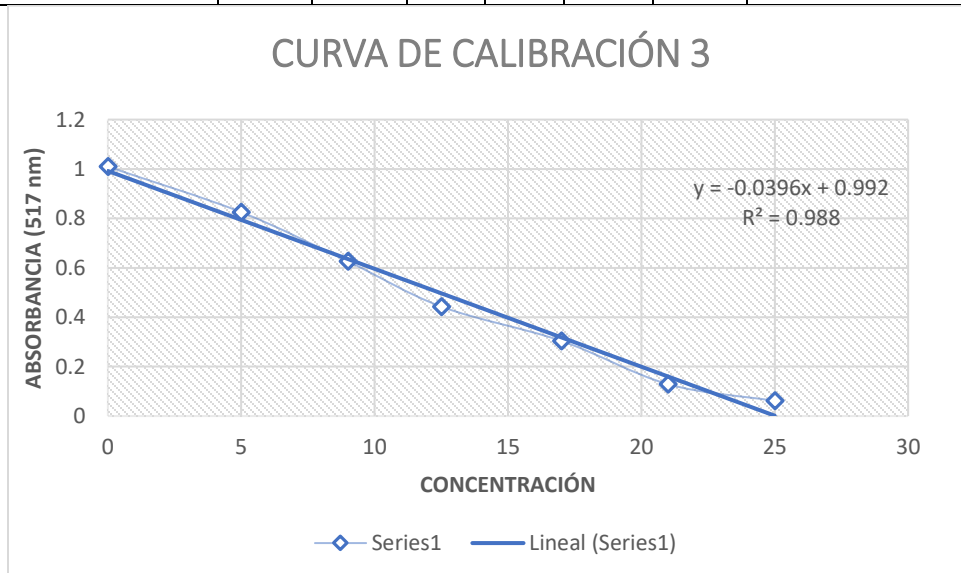
CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIAS			PROMEDIO DE ABSORBANCIAS
	a	b	c	
25	0.065	0.07	0.057	0.064
21	0.156	0.152	0.13	0.146
17	0.322	0.355	0.338	0.338
12.5	0.48	0.476	0.478	0.478
9	0.601	0.523	0.612	0.579
5	0.81	0.794	0.758	0.787
0	0.957	0.983	0.991	0.977



CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIAS			PROMEDIO DE ABSORBANCIAS
	a	b	c	
25	0.068	0.052	0.05	0.057
21	0.163	0.155	0.144	0.154
17	0.311	0.246	0.285	0.281
12.5	0.421	0.431	0.468	0.440
9	0.552	0.513	0.693	0.586
5	0.784	0.773	0.743	0.767
0	0.944	0.953	0.958	0.952



CONCENTRACIÓN	ABSORBANCIAS						PROMEDIO DE ABSORBANCIAS
	a	b	c	d	e	f	
25	0.059	0.056	0.066	0.063	0.06	0.065	0.0615
21	0.303	0.058	0.064	0.243	0.047	0.059	0.129
17	0.334	0.304	0.23	0.547	0.24	0.171	0.3043
12.5	0.607	0.459	0.462	0.447	0.373	0.31	0.443
9	0.76	0.636	0.355	0.69	0.637	0.679	0.6261
5	0.966	0.961	0.818	0.76	0.727	0.719	0.8251
0	1.021	1.029	1.022	0.992	1.006	0.987	1.0095



**DATOS DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE CON DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN,
APARTADO 4.2**

Muestra	Absorbancia	Conc. Act. Antiox (mg/100 mL)	W Mtra. (g)	Vol. Mtra. (mL)	xbh	Ss (g)	gss muestra	Concentración (mg equivalentes AA/gss)
E1a	0.652	7.6049	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	3.2280
E1b	0.694	6.4605	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	2.7422
E1c	0.693	6.4877	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	2.7538
P1a	0.405	14.3351	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	6.1775
P1b	0.265	18.1499	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	7.8214
P1c	0.305	17.0599	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	7.3517
E2a	0.493	11.9373	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	5.0669
E2b	0.567	9.9210	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	4.2111
E2c	0.402	14.4169	0.75	30	0.05763	0.942369	0.7068	6.1194
E3a	0.442	13.8889	0.7501	30	0.057631	0.942369	0.7069	5.8945
E3b	0.396	15.0505	0.7511	30	0.057631	0.942369	0.7078	6.3790
E3c	0.397	15.0253	0.7518	30	0.057631	0.942369	0.7085	6.3624
E4a	0.710	6.6199	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	2.8099
E4b	0.755	5.4070	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	2.2951
E4c	0.721	6.3235	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	2.6841
E5a	0.924	0.8518	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.3615
E5b	0.868	2.3612	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	1.0022
E5c	0.875	2.1725	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.9221
E6a	0.852	2.7925	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	1.1853
E6b	0.930	0.6900	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.2929
E6c	0.908	1.2830	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.5446
E7a	0.889	1.7951	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.7620
E7b	0.925	0.8248	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.3501
E7c	0.907	1.3100	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	0.5560
E8a	0.696	6.4060	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	2.7191
E8b	0.666	7.2234	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	3.0661
E8c	0.741	5.1798	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	2.1986
P2a	0.470	12.5640	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	5.4143
P2b	0.480	12.2916	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	5.2969
P2c	0.572	9.7847	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	4.2166

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENT. ACTIV. ANTIOX (mg/100 mL)	W MUESTRA (g)	VOL. MUESTRA (mL)	xbh	Ss (g)	gss muestra	CONCENTRACIÓN (mg equivalentes AA/gss)
P3a	0.467	12.6458	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	5.4495
P3b	0.430	13.6540	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	5.8840
P3c	0.452	13.0545	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	5.6256
E9a	0.625	8.3406	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	3.5403
E9b	0.545	10.5204	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	4.4655
E9c	0.439	13.4087	0.75	30	0.057631	0.942369	0.7068	5.6915
J1a	0.081	23.1635	0.75	30	0.066357	0.933643	0.7002	9.9239
J1b	0.090	22.9183	0.75	30	0.066357	0.933643	0.7002	9.8189
J1c	0.089	22.9455	0.75	30	0.066357	0.933643	0.7002	9.8305
P4a	0.555	11.0354	0.7524	30	0.07179	0.928215	0.6984	4.7403
P4b	0.494	12.5758	0.7505	30	0.07179	0.928215	0.6966	5.4157
P4c	0.808	4.6465	0.7504	30	0.07179	0.928215	0.6965	2.0013
P5a	0.226	19.2125	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	8.2793
P5b	0.262	18.2316	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	7.8566
P5c	0.415	14.0627	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	6.0601
J2a	0.143	21.4394	0.7534	30	0.066357	0.933643	0.7034	9.1438
J2b	0.160	21.0101	0.7517	30	0.066357	0.933643	0.7018	8.9810
J2c	0.145	21.3889	0.754	30	0.066357	0.933643	0.7040	9.1150
P6a	0.612	8.6948	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	3.7469
P6b	0.719	5.7793	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	2.4905
P6c	0.736	5.3161	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	2.2909
J3a	0.104	22.4242	0.7516	30	0.066357	0.933643	0.7017	9.5868
J3b	0.115	22.1465	0.7535	30	0.066357	0.933643	0.7035	9.4441
J3c	0.144	21.4141	0.7508	30	0.066357	0.933643	0.7010	9.1647
J4a	0.251	18.7121	0.7539	30	0.066357	0.933643	0.7039	7.9753
J4b	0.262	18.4343	0.7512	30	0.066357	0.933643	0.7014	7.8852
J4c	0.368	15.7576	0.7516	30	0.066357	0.933643	0.7017	6.7366
J5a	0.413	14.6212	0.7534	30	0.066357	0.933643	0.7034	6.2359
J5b	0.375	15.5808	0.7504	30	0.066357	0.933643	0.7006	6.6717
J5c	0.343	16.3889	0.7507	30	0.066357	0.933643	0.7009	7.0149
P7a	0.621	9.3687	0.7514	30	0.07179	0.928215	0.6975	4.0298
P7b	0.441	13.9141	0.7503	30	0.07179	0.928215	0.6964	5.9937
P7c	0.545	11.2879	0.751	30	0.07179	0.928215	0.6971	4.8579
J6a	0.147	21.3384	0.7506	30	0.066357	0.933643	0.7008	9.1347
J6b	0.135	21.6414	0.7502	30	0.066357	0.933643	0.7004	9.2693
J6c	0.137	21.5909	0.7515	30	0.066357	0.933643	0.7016	9.2317
P8a	0.756	5.9596	0.7507	30	0.07179	0.928215	0.6968	2.5658
P8b	0.592	10.1010	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	4.3529
P8c	0.644	8.7879	0.7524	30	0.07179	0.928215	0.6984	3.7749

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENT. ACTIV. ANTIOX (mg/100 mL)	W MUESTRA (g)	VOL. MUESTRA (mL)	xbh	Ss (g)	gss muestra	CONCENTRACIÓN (mg equivalentes AA/gss)
J7a	0.129	21.7929	0.75	30	0.066357	0.933643	0.7002	9.3367
J7b	0.114	22.1717	0.7503	30	0.066357	0.933643	0.7005	9.4952
J7c	0.144	21.4141	0.7512	30	0.066357	0.933643	0.7014	9.1598
J8a	0.095	22.6515	0.7523	30	0.066357	0.933643	0.7024	9.6749
J8b	0.096	22.6263	0.751	30	0.066357	0.933643	0.7012	9.6808
J8c	0.105	22.3990	0.7502	30	0.066357	0.933643	0.7004	9.5938
J9a	0.272	18.1818	0.7513	30	0.066357	0.933643	0.7014	7.7761
J9b	0.286	17.8283	0.7523	30	0.066357	0.933643	0.7024	7.6148
J9c	0.237	19.0657	0.75	30	0.066357	0.933643	0.7002	8.1683
P9a	0.756	5.9596	0.7507	30	0.07179	0.928215	0.6968	2.5658
P9b	0.592	10.1010	0.75	30	0.07179	0.928215	0.6962	4.3529
P9c	0.644	8.7879	0.7524	30	0.07179	0.928215	0.6984	3.7749

**DATOS PARA CÁLCULOS DE DENSIDAD SUPERFICIAL DE SÓLIDOS DEL
APARTADO 4.4.1**

Muestra	Masa inicial fruta (g)	Masa fruta recubierta en mojado (g)	Masa recubrimiento húmedo (g)	Fracción másica de sólidos en DFR	Se (m ² /m ³)	DSS (g/m ²)
Rodajas secas con HPMC	7.307	7.629	0.322	0.056603774	766.6666667	2.748845622
	7.227	7.548	0.321	0.056603774	766.6666667	2.770642957
	7.004	7.284	0.28	0.056603774	766.6666667	2.493707317
	7.387	7.719	0.332	0.056603774	766.6666667	2.80351943
	7.753	8.012	0.259	0.056603774	766.6666667	2.08383614
	7.209	7.451	0.242	0.056603774	766.6666667	2.093986735
	7.43	7.731	0.301	0.056603774	766.6666667	2.527035061
Rodajas secas con HPMC y ácido cítrico	7.512	8.023	0.511	0.069767442	766.6666667	5.230055778
	7.731	8.036	0.305	0.069767442	766.6666667	3.033228765
	8.035	8.371	0.336	0.069767442	766.6666667	3.215099338
	8.05	8.397	0.347	0.069767442	766.6666667	3.314168568
	8.354	8.72	0.366	0.069767442	766.6666667	3.368430679
	8.194	8.44	0.246	0.069767442	766.6666667	2.308235666
	8.351	8.7	0.349	0.069767442	766.6666667	3.213127381
Rodajas secas con HPMC y extracto de jengibre	7.646	7.94	0.294	0.099099099	766.6666667	4.199242389
	7.517	7.752	0.235	0.099099099	766.6666667	3.41413916
	7.516	7.83	0.314	0.099099099	766.6666667	4.562478003
	7.594	7.814	0.22	0.099099099	766.6666667	3.16380709
	8.009	8.288	0.279	0.099099099	766.6666667	3.804379358
	7.951	8.121	0.17	0.099099099	766.6666667	2.334990268
	7.856	8.087	0.231	0.099099099	766.6666667	3.211207815

	Promedio			
mp	35.427	35.512	35.489	35.476
mp+a	35.594	38.042	37.841	37.159
mp+a+w	60.112	60.167	60	60.093
mp+w	60.402	60.402	60.402	60.402

m	Vreal	Densidad
1.992	1.992	0.844879518

R	0.03	m
r	0.01	m
h	0.003	m
R ²	0.0009	m
r ²	0.0001	m
2π	6.283185307	

m ²	0.00578053
m ³	7.53982E-06

Se	766.6666667
----	-------------

DATOS DE ACTIVIDAD DE AGUA DE MUESTRAS DEL APARTADO 4.4.2

Muestra	T (°C)	aw
Rodajas secas con extracto de jengibre	24.99	0.17
	24.98	0.1683
	24.99	0.1725
	24.98	0.1564
	24.97	0.177
	24.98	0.1526
Rodajas secas control con agua	25.01	0.2366
	25	0.2271
	25	0.232
	25	0.2428
	24.99	0.2187
	25	0.237
Rodajas secas con ácido cítrico	25	0.1856
	25	0.1972
	25	0.1844
	24.99	0.2015
	25	0.1996
	24.99	0.1837
Rodajas secas control sin tratamiento	24.98	0.1765
	24.99	0.2029
	25	0.1941
	24.99	0.18
	24.99	0.1845
	25	0.218
Rodajas secas con HPMC	25.03	0.2923
	25.02	0.2959
	25.03	0.2761
	25.01	0.2751
	25.01	0.3026
Rodajas secas con HPMC y ácido cítrico	25.03	0.3059
	25.04	0.2826
	25.03	0.2811
	25.04	0.2889
	25.05	0.2877
	25.02	0.2753
Rodajas secas con HPMC y extracto de jengibre	25.05	0.2888
	25.02	0.3129
	25.04	0.2926
	25.03	0.2656
	25.05	0.2778
	25.02	0.2693

DATOS DE COLOR DEL APARTADO 4.4.3

Rodajas frescas					
Muestra	L*	a*	b*	C*	h
1	70.1858	-1.2078	17.1254	17.168	94.0343
2	73.4887	-0.1392	13.0864	13.0872	90.6094
3	71.9714	-0.1595	12.1513	12.1523	90.7518
4	70.3533	-0.2332	11.7982	11.8005	91.1323
5	68.3853	-0.3851	11.5598	11.5663	91.9083
6	66.9217	-0.7194	11.0017	11.0252	93.7411
7	71.4939	-0.4021	13.2092	13.2153	91.7438
8	71.7773	-0.3475	12.3207	12.3256	91.6157
9	70.078	-0.1067	12.2616	12.2621	90.4985
10	69.3546	-1.1329	8.4791	8.5544	97.6103
11	71.3198	-1.4822	13.2014	13.2843	96.4062
12	69.9903	-1.2463	12.3534	12.4161	95.761
13	75.4809	-2.1341	19.4179	19.5348	96.2718
14	73.0435	-1.2738	12.7073	12.771	95.7245
15	66.4123	-1.0846	12.6544	12.7008	94.8988
16	70.1004	-1.0363	15.612	15.6463	93.7975
17	69.21	-2.0129	16.7887	16.9089	96.8369
18	57.1242	-0.8093	13.2361	13.2608	93.4987
19	75.7032	-1.0963	14.7201	14.7609	94.2592
20	70.8329	-0.7291	13.6669	13.6863	93.0539

Rodajas sin tratamiento					
	L*	a*	b*	C*	h
1	72.7858	5.1284	38.4931	38.8333	82.4112
2	73.7703	5.5529	38.5919	38.9893	81.812
3	65.6511	3.9228	34.429	34.6518	83.4998
4	71.0423	4.1774	34.9714	35.22	83.1882
5	61.035	3.3068	30.6215	30.7995	83.8365
6	71.6583	3.0983	32.0511	32.2005	84.4784
7	60.9632	3.7362	31.1114	31.3349	83.1522
8	69.123	3.768	32.6082	32.8252	83.4085
9	71.2912	6.5221	38.829	39.373	80.465
10	58.9331	4.8167	31.2403	31.6095	81.235
11	61.9876	4.9042	33.3009	33.6601	81.6223
12	64.2967	6.831	36.9057	37.5325	79.5137
13	62.8108	3.3048	28.4466	28.638	83.3733
14	52.6156	5.5556	32.2334	32.7087	80.2208
15	66.4846	5.8993	37.5902	38.0503	81.0809
16	77.2845	4.7064	34.8083	35.125	82.2997
17	65.7383	4.6677	33.2978	33.6234	82.0203
18	58.1854	5.7569	33.5431	34.0335	80.2614
19	71.5022	3.5817	33.2994	33.4914	83.8608
20	61.1544	3.781	30.9118	31.1421	83.0265
21	65.4341	10.1017	41.2518	42.4706	76.2402
22	67.3418	8.7455	39.6262	40.5798	77.5543
23	70.7207	4.1515	37.182	37.413	83.6292
24	68.2057	9.4443	39.1576	40.2804	76.44
25	73.1523	7.3482	38.1904	38.8909	79.1088
26	70.487	9.0303	41.3546	42.329	77.6821
27	65.9137	8.6121	40.7932	41.6923	78.079
28	68.709	9.2067	41.4251	42.4359	77.4697
29	69.7712	9.8424	42.4067	43.5339	76.9333
30	65.2454	12.4204	42.0764	43.8713	73.5541
31	66.5559	8.6629	39.3296	40.2724	77.5782
32	67.1382	11.1685	44.2415	45.6294	75.832
33	65.9146	7.6249	35.8664	36.668	77.9981
34	56.0505	11.5128	41.5937	43.1577	74.5284
35	67.6789	10.0708	42.8806	44.0473	76.7832
36	74.4794	7.9702	40.409	41.1875	78.8422
37	55.7689	9.5525	36.1581	37.3987	75.2013
38	56.6083	11.0192	40.4881	41.9608	74.7752
39	68.7754	6.922	39.219	39.8251	79.9906
40	55.5577	7.7874	31.8352	32.7739	76.2545

Rodajas sumergidas en agua				
L*	a*	b*	C*	h
71.5277	3.7269	30.2771	30.5056	82.9825
76.5478	4.302	32.5071	32.7906	82.4612
73.6407	1.7244	27.2753	27.3297	86.3824
79.737	2.5343	31.1387	31.2417	85.347
75.6216	4.0663	34.5655	34.8038	83.2905
74.613	4.8342	33.7803	34.1244	81.8559
75.5521	3.2476	31.2393	31.4077	84.0649
78.4054	1.8606	22.66	22.7363	85.306
68.899	2.0436	26.3481	26.4272	85.5649
79.0309	1.9496	28.1795	28.2469	86.0424
77.6303	1.7479	28.0184	28.0729	86.4304
74.6236	8.4563	39.2527	40.1532	77.8425
80.803	1.4724	26.4691	26.51	86.816
78.4201	3.3605	32.2771	32.4515	84.0562
80.105	2.3431	30.8666	30.9554	85.6589
67.3557	2.4992	27.3261	27.4401	84.7743
73.904	3.638	30.3798	30.5969	83.1713
72.3021	4.4682	31.1519	31.4707	81.8376
67.0182	7.5395	35.8532	36.6374	78.1244
73.4213	6.521	34.6561	35.2643	79.3437
68.2478	6.151	33.5233	34.0829	79.6028
69.3322	8.619	39.5323	40.4609	77.7007
70.6095	5.6067	33.4536	33.9202	80.4858
73.8361	7.2248	37.6597	38.3465	79.1401
68.3677	7.1082	36.7013	37.3833	79.0388
65.1108	8.0487	38.703	39.531	78.2521
71.6403	7.0602	35.131	35.8335	78.6367
65.4603	8.0153	34.8527	35.7625	77.0485
63.5282	9.0806	37.9946	39.0646	76.5587
75.4524	7.0296	35.9361	36.6172	78.932
73.7757	7.0634	36.7332	37.4061	79.1155
78.217	2.8369	30.6481	30.7791	84.7115
68.9642	7.4659	35.6162	36.3903	78.1609
67.8023	8.528	37.2298	38.1941	77.0981
67.025	9.1114	38.683	39.7415	76.746
62.3637	6.8758	35.8474	36.5009	79.1421
73.6085	6.3814	36.6367	37.1883	80.1194
66.6204	10.5395	38.5975	40.0106	74.727
72.1937	6.744	37.149	37.7562	79.7106
48.5985	5.6486	27.0893	27.672	78.2217

Rodajas sumergidas en ácido cítrico				
L*	a*	b*	C*	h
82.4791	1.8724	28.7492	28.8101	86.2736
81.7661	3.4602	30.7102	30.9045	83.5714
81.9528	0.4015	26.1785	26.1816	89.1213
83.0949	1.7508	26.9582	27.015	86.2841
78.7655	3.4964	31.1097	31.3055	83.5875
80.3701	2.3756	35.4036	35.4833	86.1612
81.0294	1.8563	32.0352	32.089	86.6837
80.3527	0.3237	26.6487	26.6507	89.304
74.9099	6.0704	36.9831	37.478	80.6786
75.5627	7.3164	37.6795	38.3833	79.0114
76.34	5.274	34.2464	34.6502	81.2452
76.1899	8.1235	38.9961	39.8332	78.2327
84.1712	1.3734	27.8008	27.8347	87.1718
80.6389	1.4142	25.9525	25.991	86.8809
78.4393	4.3854	33.5456	33.831	82.5521
81.27	0.7425	23.5616	23.5733	88.1949
77.8616	1.2244	21.0429	21.0784	86.6699
80.5433	4.0894	31.104	31.3717	82.51
68.8482	1.8744	24.7434	24.8143	85.6679
64.255	4.7811	28.0055	28.4107	80.3119
81.0983	2.6062	29.4292	29.5444	84.9392
78.2743	5.0323	32.8755	33.2584	81.2972
80.7993	2.9216	30.2893	30.4299	84.4904
82.4889	1.7935	25.6535	25.7161	86.0008
71.0215	7.3695	36.9763	37.7035	78.7284
72.3491	8.303	39.5656	40.4274	78.1482
76.3824	6.8861	35.5772	36.2375	79.0457
75.2173	7.8894	40.45	41.2122	78.9636
82.4536	0.4515	25.6466	25.6505	88.9915
76.5068	0.8792	26.143	26.1577	88.0738
85.3116	-0.4193	21.2459	21.2501	91.1307
79.128	1.2042	30.2755	30.2994	87.7223
64.4401	8.3466	34.9503	35.9332	76.5685
68.8595	8.2324	36.2046	37.1288	77.1897
75.9463	8.0632	37.9699	38.8166	78.0109
81.8087	1.3585	26.0616	26.097	87.0161
77.4153	7.255	35.2612	35.9998	78.3737
77.3819	6.7923	33.9136	34.5871	78.6745
69.3496	11.1564	39.9686	41.4964	74.404
72.497	9.5682	37.0999	38.3139	75.5384

Rodajas sumergidas en extracto de jengibre				
L*	a*	b*	C*	h
78.1315	4.3095	36.744	36.9959	83.3106
82.2011	0.8836	31.2274	31.2399	88.3792
76.9182	4.3572	32.9586	33.2454	82.4691
71.0614	6.0826	34.1295	34.6673	79.8948
77.6849	2.7475	32.1659	32.283	85.1179
78.9414	2.7201	33.0653	33.177	85.2971
76.8764	3.1077	30.8934	31.0494	84.2557
78.4109	2.4927	30.8559	30.9564	85.3813
79.7015	1.9029	29.2679	29.3297	86.28
77.9983	2.5005	31.4519	31.5512	85.4544
79.0238	2.4233	31.4862	31.5794	85.5989
79.6409	1.9642	32.0514	32.1115	86.4931
70.6915	4.3593	29.6691	29.9877	81.6412
73.291	3.1534	30.3588	30.5221	84.0699
76.572	3.8853	34.0443	34.2653	83.4892
80.1358	2.2112	29.4821	29.5649	85.7108
76.3308	3.696	33.0278	33.2339	83.6149
77.2593	2.905	31.3169	31.4514	84.7002
74.7525	5.4647	33.0822	33.5305	80.6202
70.206	6.2295	33.6127	34.1851	79.5004
75.2567	5.6556	37.5353	37.959	81.4315
79.5083	3.0853	33.5288	33.6705	84.7425
71.5911	8.91	35.5849	36.6834	75.9428
72.1589	7.9978	35.2918	36.1867	77.2313
71.8483	8.995	40.2752	41.2674	77.4103
78.8185	3.1156	33.379	33.524	84.6675
69.0519	8.864	36.8338	37.8854	76.4692
69.4383	6.2725	33.4054	33.9892	79.3654
70.8861	7.1012	38.5115	39.1607	79.5524
63.4337	8.6454	34.4269	35.4959	75.9032
70.3684	6.992	35.7919	36.4684	78.9464
72.266	4.9527	30.6314	31.0292	80.8156
72.0573	7.8372	36.0772	36.9186	77.7438
68.0553	7.88	36.9874	37.8175	77.9733
72.227	7.5513	38.4389	39.1736	78.8858
75.9699	4.7543	34.6289	34.9538	82.1826
71.3265	8.0388	39.1675	39.984	78.4016
74.1527	5.8915	35.9897	36.4687	80.7032
70.2694	7.5957	35.762	36.5598	78.0087
60.5862	10.6824	36.387	37.9226	73.639

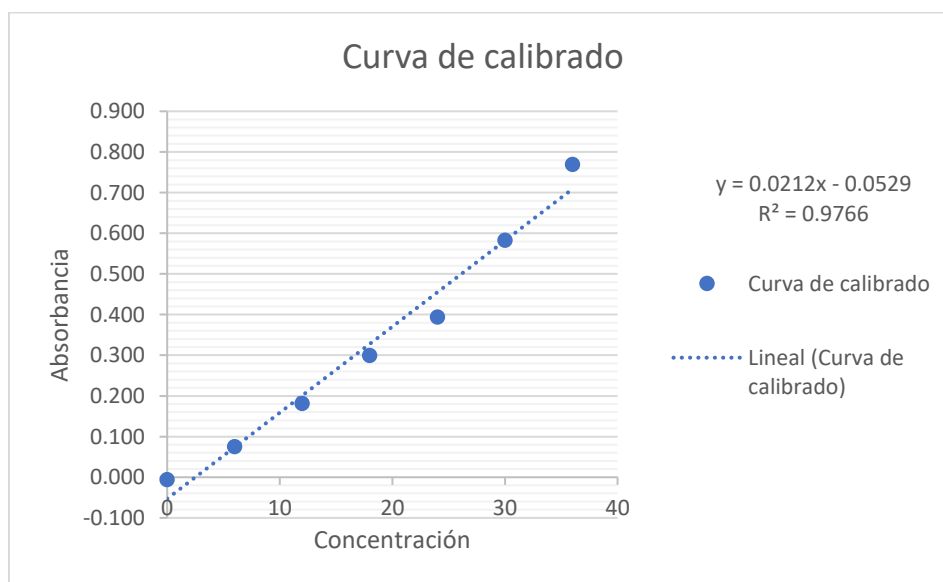
Rodajas sumergidas en HPMC				
L*	a*	b*	C*	h
81.2999	-1.1375	30.2728	30.2942	92.1519
84.4332	-1.2784	25.1191	25.1516	92.9134
82.175	-0.735	32.0193	32.0278	91.315
80.0738	-0.9811	29.7258	29.742	91.8904
79.2968	2.1024	34.2014	34.266	86.4824
80.8587	2.302	31.5165	31.6005	85.8225
77.9975	3.7955	37.1518	37.3452	84.1667
74.6646	3.4644	30.7697	30.9641	83.5761
83.6045	-0.6331	26.8945	26.9019	91.3485
83.1577	-0.5529	30.8498	30.8548	91.0268
83.1591	-0.6183	26.7373	26.7444	91.3247
82.2153	-0.7397	30.1349	30.144	91.4062
82.7392	-1.0159	30.0089	30.0261	91.9388
84.7557	-2.088	25.1204	25.207	94.7516
81.4203	-1.1671	30.3122	30.3346	92.205
83.3397	-0.9505	27.6798	27.6961	91.9666
79.1653	1.8942	34.8081	34.8596	86.8851
80.4114	0.4415	32.5521	32.5551	89.2229
76.7017	2.5736	32.8739	32.9745	85.5236
81.14	0.6661	29.6558	29.6633	88.7133
80.5403	-0.9364	30.544	30.5583	91.7561
81.0009	0.5488	29.5212	29.5263	88.9349
79.1561	-0.1561	29.7801	29.7805	90.3002
78.4185	1.15	35.346	35.3648	88.1364
74.3531	5.8268	37.7557	38.2026	81.2268
72.784	8.0216	38.3806	39.2099	78.1951
70.0481	7.9787	40.4706	41.2496	78.8472
71.6273	9.0229	38.3495	39.3966	76.7602
77.4545	2.8745	34.4187	34.5385	85.2261
79.7382	1.9916	30.9659	31.0299	86.32
82.2153	-0.7397	30.1349	30.144	91.4062
83.1591	-0.6183	26.7373	26.7444	91.3247
77.4714	1.8804	34.3541	34.4055	86.867
81.0334	0.6474	31.0073	31.0141	88.8038
78.5297	3.2363	37.7377	37.8762	85.0984
75.6639	2.8335	34.7394	34.8548	85.3371
74.1816	4.5403	34.7862	35.0812	82.5638
73.8067	5.6894	38.5551	38.9727	81.6056
73.4719	6.0636	37.1778	37.669	80.7368
74.9758	5.6685	36.4206	36.8591	81.1534

Rodajas sumergidas en HPMC-AC				
L*	a*	b*	C*	h
83.3795	-0.6746	28.0278	28.0359	91.3788
83.6063	-0.0636	31.005	31.0051	90.1175
81.6039	2.1812	35.2495	35.3169	86.4592
82.6771	0.6205	30.7374	30.7437	88.8435
83.6498	0.5728	30.585	30.5903	88.9271
78.6494	3.143	32.6537	32.8046	84.502
77.326	2.8983	31.2151	31.3494	84.6953
77.3911	2.9935	29.5359	29.6872	84.2128
78.8433	0.1477	28.9444	28.9448	89.7075
78.2556	2.325	32.8098	32.892	85.9467
83.8804	-0.1421	29.5341	29.5345	90.2757
27.6355	1.1598	2.6955	2.9344	66.7197
81.4299	1.1376	32.9245	32.9442	88.0212
85.135	0.0329	28.4482	28.4482	89.9338
84.325	0.0825	28.0232	28.0233	89.8313
82.7334	0.9743	32.0663	32.0811	88.2597
82.4076	1.0937	34.1405	34.158	88.1652
83.5368	0.2768	30.8541	30.8554	89.486
83.0731	1.7726	32.1848	32.2336	86.8476
83.8158	1.1443	33.4068	33.4264	88.0383
73.8411	7.7195	39.0107	39.7671	78.8068
71.8906	6.5079	34.7766	35.3803	79.4006
75.16	5.6415	33.978	34.4431	80.5729
70.0561	8.3207	36.7639	37.6937	77.2472
75.6237	4.0859	34.2865	34.5291	83.2042
73.3517	8.691	38.3611	39.3333	77.2346
73.2259	5.5904	31.7136	32.2025	80.0027
78.4102	4.2731	33.0196	33.295	82.6262
75.5067	5.5436	34.2098	34.6561	80.7955
77.1641	4.8028	32.7823	33.1323	81.6652
73.6626	5.4313	36.2374	36.6421	81.476
85.5158	-0.8617	26.4153	26.4294	91.8684
74.2359	6.8098	37.2882	37.9049	79.6503
71.1062	7.9182	36.0354	36.8951	77.607
73.6012	4.6531	36.8485	37.1411	82.803
76.4073	3.1237	34.6418	34.7824	84.8475
74.0788	7.9293	37.3889	38.2205	78.0263
74.6399	5.8302	33.1075	33.6169	80.0127
75.7216	5.1056	32.5594	32.9573	81.0881
71.2103	8.2979	37.0868	38.0038	77.3882

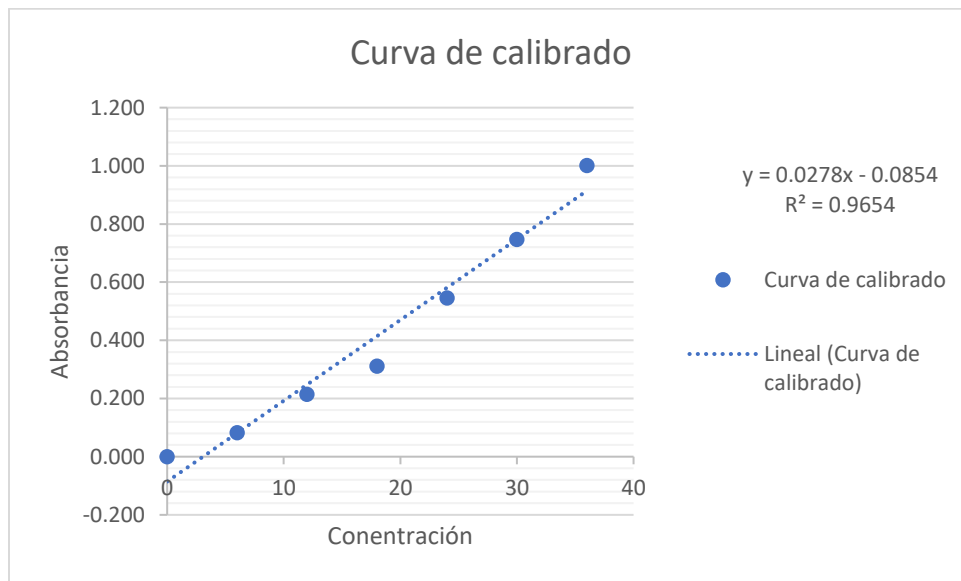
Rodajas sumergidas en HPMC-EJ				
L*	a*	b*	C*	h
81.8266	2.1139	34.7711	34.8353	86.521
81.7327	2.8099	34.5512	34.6652	85.3506
81.9389	1.8069	32.3237	32.3742	86.8006
79.0609	4.3791	37.1192	37.3766	83.2718
81.374	1.6524	33.5457	33.5864	87.1801
78.4638	2.3351	33.3247	33.4064	85.9918
80.427	2.6146	35.9443	36.0393	85.8396
82.3325	1.6316	33.1821	33.2222	87.185
76.9748	5.2686	37.235	37.6059	81.9464
77.8575	3.6253	37.7447	37.9184	84.5136
77.3678	4.9013	36.6639	36.9901	82.3857
78.188	4.3639	38.0772	38.3264	83.462
80.9116	2.1051	32.3651	32.4335	86.2786
81.5879	1.9196	31.0538	31.113	86.4627
79.5803	1.6205	32.3589	32.3995	87.133
75.9985	3.1662	32.569	32.7225	84.4474
77.1853	3.5866	36.4187	36.5949	84.3756
79.9725	2.8165	33.8434	33.9604	85.2427
83.7092	0.6081	32.2085	32.2142	88.9184
82.7291	1.2823	31.679	31.7049	87.682
60.6675	11.1151	37.4441	39.059	73.4667
72.4162	7.5781	42.2402	42.9146	79.829
75.2512	7.3555	40.5657	41.2271	79.7226
71.4613	9.4692	42.2668	43.3145	77.3723
73.9785	8.8952	38.4469	39.4625	76.9731
77.7834	5.9943	37.3691	37.8468	80.887
71.6546	10.4172	42.7018	43.9541	76.2903
74.2329	8.6802	39.7788	40.7149	77.6904
72.6655	8.3185	39.2654	40.1368	78.0386
76.3472	5.9273	35.2663	35.7609	80.4594
76.0151	6.4418	36.7969	37.3565	80.0702
72.5688	9.5946	40.326	41.4517	76.6167
65.3667	9.2235	38.4076	39.4995	76.4963
73.5617	7.3307	38.0299	38.73	79.0894
77.0899	6.4088	38.7443	39.2708	80.6076
69.9235	8.7642	40.2439	41.1871	77.7141
69.6421	8.5491	38.3911	39.3314	77.446
68.8297	8.6267	39.8801	40.8025	77.794
75.9069	4.993	35.5132	35.8625	81.9969
75.3153	4.645	34.922	35.2296	82.4235

CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA CALCULAR CONTENIDO DE FENOLES TOTALES DEL APARTADO 4.4.4

Concentración mg/100 mL	Absorbancia			Promedio
36	0.705	0.81	0.729	0.770
30	0.578	0.596	0.575	0.583
24	0.401	0.419	0.361	0.394
18	0.288	0.301	0.31	0.300
12	0.177	0.184	0.183	0.181
6	0.075	0.075	0.075	0.075
0	-0.009	-0.009	0	-0.006



Concentración mg/100 mL	Absorbancia			Promedio
36	0.938	0.937	1.065	1.001
30	0.769	0.8	0.672	0.747
24	0.549	0.533	0.554	0.545
18	0.316	0.296	0.322	0.311
12	0.246	0.206	0.19	0.214
6	0.08	0.083	0.083	0.082
0	-0.005	-0.001	0	0.000



DATOS PARA CÁLCULOS DE CONTENIDO DE FENOLES TOTALES DEL APARTADO 4.4.4

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENT. FENOLES TOT. (mg/1000 mL)	W MUESTRA (g)	VOL. MUESTRA (mL)	CONCENTRACIÓN (mgEAG/g muestra)
EJ	0.371	0.3373	2.5	50	6.7455
	0.277	0.2518	2.5	50	5.0364
	0.261	0.2373	2.5	50	4.7455
	0.352	0.3200	2.5	50	6.4000
Agua	0.304	0.2764	2.5	50	5.5273
	0.258	0.2345	2.5	50	4.6909
	0.292	0.2655	2.5	50	5.3091
	0.281	0.2555	2.5	50	5.1091
AC	0.230	0.2091	2.5	50	4.1818
	0.176	0.1600	2.5	50	3.2000
	0.190	0.1727	2.5	50	3.4545
	0.210	0.1909	2.5	50	3.8182
ST	0.247	0.2245	2.5	50	4.4909
	0.223	0.2027	2.5	50	4.0545
	0.205	0.1864	2.5	50	3.7273
	0.225	0.2045	2.5	50	4.0909
HPMC	0.232	0.2109	2.5	50	4.2182
	0.271	0.2464	2.5	50	4.9273
	0.263	0.2391	2.5	50	4.7818
	0.263	0.2391	2.5	50	4.7818
HPMC-AC	0.230	0.2091	2.5	50	4.1818
	0.252	0.2291	2.5	50	4.5818
	0.270	0.2455	2.5	50	4.9091
	0.274	0.2491	2.5	50	4.9818
HPMC-EJ	0.206	0.1873	2.5	50	3.7455
	0.220	0.2000	2.5	50	4.0000
	0.446	0.4055	2.5	50	8.1091
	0.394	0.3582	2.5	50	7.1636

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS SIN TRATAMIENTO

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m²	
0	121.27	86.0000	6.1429	0.093473	1.0000
5	113.63	85.0587	5.6929	0.088613605	0.9260
10	107.46	84.2008	5.3294	0.084101168	0.8663
15	99.89	83.0035	4.8836	0.079868889	0.7930
20	92.52	81.6496	4.4495	0.075859004	0.7217
25	87.43	80.5813	4.1497	0.072022271	0.6724
30	81.02	79.0449	3.7721	0.068317469	0.6103
35	73.71	76.9668	3.3416	0.064710884	0.5395
40	69.38	75.5293	3.0865	0.061175807	0.4976
45	64.28	73.5877	2.7861	0.057692022	0.4483
50	60.13	71.7648	2.5417	0.0542453	0.4081
55	55.76	69.5520	2.2843	0.050826893	0.3658
60	51.73	67.1800	2.0469	0.047433022	0.3267
70	44.21	61.5974	1.6040	0.040725592	0.2539
80	38.11	55.4505	1.2447	0.034172929	0.1949
90	32.72	48.1119	0.9272	0.027872005	0.1427
100	26.91	36.9090	0.5850	0.0219506	0.0865
110	24.04	29.3769	0.4160	0.016551054	0.0587
120	22.59	24.8437	0.3306	0.011814025	0.0446
130	20.93	18.8829	0.2328	0.007862235	0.0286
140	19.87	14.5556	0.1704	0.004784236	0.0183
150	19.14	11.2968	0.1274	0.00261815	0.0112
160	18.64	8.9174	0.0979	0.001335435	0.0064
180	18.33	7.3770	0.0796	0.000875118	0.0034
200	17.98	5.5740	0.0590	0.0012242	0.0000
220	17.98	5.5740	0.0590	-0.001902859	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON EXTRACTO DE JENGIBRE

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m²	
0	129.93	88.0000	7.3333	0.14196	1.0000
5	118.35	86.8259	6.5906	0.127085556	0.8982
15	102.64	84.8094	5.5830	0.103154556	0.7600
20	93.72	83.3636	5.0109	0.093593596	0.6816
25	87.37	82.1545	4.6037	0.085337123	0.6258
30	79.75	80.4494	4.1149	0.078188057	0.5588
35	75.08	79.2334	3.8154	0.07196961	0.5177
40	69.37	77.5240	3.4492	0.066524301	0.4675
45	63.66	75.5080	3.0830	0.061712985	0.4173
50	58.53	73.3614	2.7539	0.057413869	0.3722
55	54.22	71.2438	2.4775	0.053521534	0.3343
60	50.43	69.0827	2.2344	0.049945961	0.3010
70	45.81	65.9646	1.9381	0.043456139	0.2604
80	39.12	60.1442	1.5090	0.037495018	0.2015
90	32.61	52.1877	1.0915	0.031796966	0.1443
100	26.99	42.2319	0.7311	0.0262488	0.0949
110	23.03	32.2987	0.4771	0.020858481	0.0601
120	20.89	25.3633	0.3398	0.015723811	0.0412
130	18.94	17.6790	0.2148	0.011001132	0.0241
140	17.61	11.4617	0.1295	0.00687402	0.0124
150	17.23	9.5090	0.1051	0.003521981	0.0091
160	16.8	7.1929	0.0775	0.001089151	0.0053
170	16.55	5.7909	0.0615	-0.00034701	0.0031
180	16.42	5.0451	0.0531	-0.000807024	0.0019
200	16.27	4.1696	0.0435	0.0004416	0.0006
220	16.2	3.7556	0.0390	0.001521753	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON EXTRACTO DE PEREJIL

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m²	
0	131.69	87.5000	7.0000	0.1169	1.0000
5	121.12	86.4091	6.3579	0.105248067	0.9074
10	115.14	85.7033	5.9946	0.095593513	0.8550
15	107.17	84.6401	5.5104	0.087610232	0.7852
20	99.33	83.4277	5.0342	0.081005545	0.7165
25	93.48	82.3906	4.6788	0.07551862	0.6653
30	87.72	81.2343	4.3289	0.070918895	0.6148
35	82.29	79.9961	3.9990	0.06700449	0.5673
40	74.36	77.8628	3.5173	0.063600631	0.4978
45	70.27	76.5743	3.2688	0.060558063	0.4620
50	65.1	74.7139	2.9547	0.057751475	0.4167
55	61.23	73.1157	2.7196	0.055077914	0.3828
67	55.19	70.1735	2.3527	0.048752315	0.3299
80	41.05	59.8995	1.4937	0.041468017	0.2060
90	34.6	52.4241	1.1019	0.035404438	0.1495
100	29.52	44.2370	0.7933	0.0290472	0.1050
110	25.37	35.1153	0.5412	0.022636219	0.0687
120	22.3	26.1827	0.3547	0.016490818	0.0418
130	20.61	20.1298	0.2520	0.010959121	0.0270
140	19.24	14.4426	0.1688	0.00636744	0.0150
150	18.42	10.6338	0.1190	0.002969675	0.0078
160	17.74	7.2083	0.0777	0.000896701	0.0018
170	17.52	6.0431	0.0643	0.000105762	-0.0001
180	17.53	6.0967	0.0649	0.000329866	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON EXTRACTO DE EPAZOTE

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m²	
0	128.52	86.1000	6.1942	0.11186	1.0000
5	120.42	85.1650	5.7408	0.100787541	0.9260
10	110.49	83.8318	5.1850	0.091325267	0.8354
15	103.73	82.7781	4.8066	0.08324023	0.7737
20	95.54	81.3018	4.3481	0.076321867	0.6989
25	89.58	80.0577	4.0145	0.07038099	0.6445
30	83.59	78.6287	3.6792	0.065248766	0.5898
35	78.36	77.2023	3.3864	0.060775706	0.5420
40	72.07	75.2126	3.0343	0.056830646	0.4846
45	66.27	73.0432	2.7096	0.053299735	0.4317
50	63.37	71.8096	2.5473	0.050085419	0.4052
55	59.39	69.9204	2.3245	0.047105425	0.3688
60	55.66	67.9046	2.1157	0.044291749	0.3348
70	45.97	61.1393	1.5733	0.038956575	0.2463
80	41.21	56.6506	1.3068	0.033782625	0.2029
90	35.77	50.0579	1.0023	0.028635941	0.1532
100	30.16	40.7683	0.6883	0.0235134	0.1020
110	26.34	32.1781	0.4745	0.018510228	0.0671
120	23.62	24.3680	0.3222	0.013787526	0.0423
130	21.79	18.0162	0.2198	0.009539787	0.0256
140	20.65	13.4902	0.1559	0.005962417	0.0152
150	20.08	11.0345	0.1240	0.003219256	0.0100
160	19.05	6.2243	0.0664	0.001410096	0.0005
170	18.93	5.6298	0.0597	0.000538203	-0.0005
180	18.99	5.9280	0.0630	0.000477836	0.0000
200	18.72	4.5712	0.0479	0.0014488	-0.0025

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON ÁCIDO CÍTRICO

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m2	
0	125.74	87.3000	6.8740	0.095485	1.0000
5	120	86.6925	6.5146	0.09282193	0.9473
10	110.1	85.4959	5.8946	0.08989638	0.8565
15	106	84.9349	5.6379	0.08674907	0.8189
20	98.73	83.8256	5.1826	0.083417794	0.7522
25	91.87	82.6179	4.7530	0.079937541	0.6893
30	85.44	81.3097	4.3504	0.076340622	0.6303
35	76	78.9882	3.7592	0.072656786	0.5437
40	72.92	78.1007	3.5664	0.068913348	0.5155
45	68.89	76.8196	3.3140	0.06513531	0.4785
50	62.53	74.4619	2.9157	0.061345481	0.4201
55	59.07	72.9660	2.6990	0.057564603	0.3884
60	52.81	69.7614	2.3070	0.053811473	0.3310
70	47	66.0234	1.9432	0.046454648	0.2777
80	39.45	59.5210	1.4704	0.039391119	0.2084
90	34.01	53.0462	1.1298	0.032713709	0.1585
100	28.36	43.6919	0.7759	0.02649588	0.1067
110	24.13	33.8211	0.5111	0.020795646	0.0679
120	20.83	23.3366	0.3044	0.015659503	0.0376
140	18.39	13.1649	0.1516	0.007231392	0.0152
150	17.5	8.7487	0.0959	0.004010104	0.0071
160	17.2	7.1571	0.0771	0.001502112	0.0043
170	17.13	6.7777	0.0727	-0.000244866	0.0037
180	17.05	6.3403	0.0677	-0.001171101	0.0029
200	16.83	5.1160	0.0539	-0.00023884	0.0009
220	16.8	4.9465	0.0520	0.005165986	0.0006
240	16.73	4.5488	0.0477	0.01635365	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON HPMC

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m2	
0	133.67	86.1000	6.1942	0.085333	1.0000
5	125.62	85.2093	5.7610	0.080611917	0.9296
10	119.63	84.4687	5.4386	0.076540985	0.8771
15	112.15	83.4328	5.0360	0.072989527	0.8117
20	104.6	82.2370	4.6297	0.069841819	0.7456
25	98.57	81.1503	4.3051	0.066996362	0.6928
30	93.35	80.0963	4.0242	0.06436516	0.6472
35	86.33	78.4778	3.6464	0.061873	0.5857
40	81.74	77.2692	3.3993	0.059456725	0.5456
45	75.5	75.3906	3.0635	0.05706451	0.4909
50	70.15	73.5137	2.7755	0.054655144	0.4441
55	65.53	71.6464	2.5269	0.0521973	0.4037
60	61.29	69.6849	2.2987	0.049668816	0.3666
70	52.32	64.4875	1.8159	0.04435276	0.2881
80	45	58.7108	1.4219	0.038685465	0.2240
90	37.94	51.0276	1.0420	0.032745748	0.1622
100	32.09	42.0999	0.7271	0.0266896	0.1111
110	27.81	33.1890	0.4968	0.020727046	0.0736
120	24.21	23.2543	0.3030	0.015098992	0.0421
130	22.16	16.1546	0.1927	0.010054082	0.0242
140	21.02	11.6074	0.1313	0.005825545	0.0142
150	20.28	8.3820	0.0915	0.002608056	0.0077
160	19.96	6.9132	0.0743	0.000534581	0.0049
170	19.75	5.9234	0.0630	-0.000346767	0.0031
180	19.57	5.0581	0.0533	-9.58738E-05	0.0015
200	19.47	4.5705	0.0479	0.0028842	0.0006
220	19.43	4.3740	0.0457	0.005956101	0.0003
240	19.4	4.2261	0.0441	0.002391694	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON HPMC-EJ

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m2	
0	134.68	85.7000	5.9930	0.091956	1.0000
5	122.41	84.2666	5.3559	0.085308045	0.8927
10	115.07	83.2630	4.9748	0.079449559	0.8286
15	109.11	82.3488	4.6653	0.074260299	0.7765
20	102.26	81.1664	4.3097	0.069632475	0.7166
25	96.88	80.1205	4.0303	0.065470147	0.6696
30	90.23	78.6554	3.6850	0.061688639	0.6114
35	83.27	76.8713	3.3236	0.058213938	0.5506
45	73.82	73.9105	2.8330	0.051938681	0.4680
50	69.58	72.3207	2.6128	0.049038088	0.4309
55	63.6	69.7182	2.3023	0.046243037	0.3786
60	55.71	65.4295	1.8926	0.04352394	0.3096
70	52.28	63.1614	1.7145	0.038230159	0.2797
80	44.61	56.8275	1.3163	0.033051364	0.2126
90	39.17	50.8317	1.0338	0.027967295	0.1650
100	33.79	43.0031	0.7545	0.0230238	0.1180
110	29.99	35.7811	0.5572	0.018313826	0.0848
120	27.48	29.9154	0.4268	0.013958409	0.0629
130	24.28	20.6786	0.2607	0.010087666	0.0349
140	22.32	13.7131	0.1589	0.006821785	0.0177
150	21.72	11.3295	0.1278	0.004252013	0.0125
160	21.13	8.8536	0.0971	0.002421651	0.0073
170	20.77	7.2738	0.0784	0.001307042	0.0042
180	20.66	6.7801	0.0727	0.000798562	0.0032
200	20.43	5.7306	0.0608	0.0006176	0.0012
220	20.29	5.0801	0.0535	-0.001439928	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON HPMC-EP

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m2	
0	132.05	87.7000	7.1301	0.089599	1.0000
5	123.24	86.8207	6.5877	0.087353636	0.9234
10	118.81	86.3293	6.3149	0.085148227	0.8849
15	111.07	85.3767	5.8384	0.082933266	0.8177
20	105.07	84.5416	5.4690	0.080667864	0.7655
25	97.81	83.3942	5.0220	0.078319251	0.7024
30	90.63	82.0786	4.5799	0.075862277	0.6400
35	84.73	80.8307	4.2167	0.073278914	0.5888
40	78.5	79.3094	3.8331	0.070557754	0.5346
45	74.47	78.1897	3.5850	0.067693509	0.4996
50	69.49	76.6266	3.2784	0.064686513	0.4563
55	63.62	74.4701	2.9170	0.061542221	0.4053
60	58	71.9963	2.5710	0.058270712	0.3565
80	41.85	61.1896	1.5766	0.044247834	0.2161
90	36.24	55.1817	1.2312	0.036990871	0.1674
100	30.46	46.6771	0.8754	0.0298576	0.1171
110	24.16	32.7726	0.4875	0.023080037	0.0624
120	22.23	26.9359	0.3687	0.016884202	0.0456
130	20.01	18.8298	0.2320	0.011474127	0.0263
140	18.67	13.0040	0.1495	0.007015868	0.0147
150	17.86	9.0585	0.0996	0.003621512	0.0076
160	17.43	6.8150	0.0731	0.001333193	0.0039
170	17.38	6.5469	0.0701	0.000107095	0.0035
180	17.22	5.6786	0.0602	-0.000202533	0.0021
200	17	4.4579	0.0467	0.000739	0.0002
220	16.98	4.3454	0.0454	0.000345451	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON HPMC-EE

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m2	
0	133.65	85.7000	5.9930	0.089599	1.0000
5	125.31	84.7483	5.5566	0.087353636	0.9267
10	116.34	83.5723	5.0873	0.085148227	0.8479
15	107.04	82.1450	4.6007	0.082933266	0.7661
20	102.32	81.3214	4.3537	0.080667864	0.7246
30	96.1	80.1124	4.0283	0.075862277	0.6699
35	89.24	78.5837	3.6693	0.073278914	0.6097
40	83.57	77.1306	3.3727	0.070557754	0.5598
45	79.06	75.8260	3.1367	0.067693509	0.5202
50	71.89	73.4150	2.7615	0.064686513	0.4572
55	67.8	71.8113	2.5475	0.061542221	0.4212
60	62.54	69.4404	2.2723	0.058270712	0.3750
70	58.48	67.3188	2.0599	0.051406461	0.3393
80	47.92	60.1170	1.5073	0.044247834	0.2465
90	41.42	53.8582	1.1672	0.036990871	0.1893
100	34.52	44.6351	0.8062	0.0298576	0.1287
110	29.34	34.8604	0.5352	0.023080037	0.0832
120	27.29	29.9672	0.4279	0.016884202	0.0651
130	23.41	18.3599	0.2249	0.011474127	0.0310
140	21.73	12.0481	0.1370	0.007015868	0.0163
150	20.58	7.1334	0.0768	0.003621512	0.0062
160	20.33	5.9914	0.0637	0.001333193	0.0040
170	20.19	5.3395	0.0564	0.000107095	0.0027
180	20.12	5.0102	0.0527	-0.000202533	0.0021
200	19.94	4.1527	0.0433	0.000739	0.0005
220	19.88	3.8634	0.0402	0.000345451	0.0000

DATOS DE CINÉTICAS DE SECADO DE RODAJAS CON HPMC-AC

TIEMPO	W	Xbh	Xbs	dW/dt	\bar{X}
min	g	%	(g agua/g s.s)	g H2O/min. m²	
0	137.87	86.6000	6.4627	0.086589	1.0000
5	131.36	85.9359	6.1103	0.084728701	0.9450
15	116.47	84.1379	5.3043	0.080124151	0.8191
20	108.55	82.9806	4.8756	0.077446591	0.7521
25	100.38	81.5954	4.4334	0.074561587	0.6830
30	93.9	80.3253	4.0827	0.07149988	0.6283
35	86.36	78.6075	3.6745	0.068291128	0.5645
40	81.72	77.3928	3.4234	0.064963881	0.5253
45	77.42	76.1372	3.1906	0.06154556	0.4889
50	71.17	74.0416	2.8523	0.058062432	0.4361
55	64.69	71.4414	2.5016	0.054539588	0.3813
60	59.96	69.1885	2.2455	0.051000919	0.3413
70	51.43	64.0782	1.7838	0.043965528	0.2692
80	44.53	58.5121	1.4103	0.037122501	0.2109
90	38.5	52.0141	1.0839	0.030617393	0.1599
100	32.09	42.4289	0.7370	0.02457432	0.1057
110	28.63	35.4713	0.5497	0.019095221	0.0764
120	25.52	27.6074	0.3814	0.014259107	0.0501
140	21.73	14.9812	0.1762	0.006712782	0.0181
150	20.92	11.6894	0.1324	0.004039258	0.0112
160	20.42	9.5270	0.1053	0.002080601	0.0070
170	20.26	8.8125	0.0966	0.000790014	0.0057
180	19.99	7.5809	0.0820	9.32991E-05	0.0034
200	19.91	7.2095	0.0777	4.324E-05	0.0027
220	19.86	6.9759	0.0750	0.000760562	0.0023
240	19.59	5.6938	0.0604	0.000589326	0.0000

DATOS PARA CÁLCULOS DE CONTENIDO DE FENOLES TOTALES DEL APARTADO 4.5.3

MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENT. FENOLES TOT. (mg/100 mL)	W MUESTRA (g)	VOL. MUESTRA (mL)	CONCENTRACIÓN (mgEAG/g muestra)
F	0.060	5.3255	0.5394	15	1.4809
	0.058	5.2311	0.5394	15	1.4547
	0.060	5.3255	0.5394	15	1.4809
ST	0.610	31.2689	0.5084	15	9.2257
	0.710	35.9858	0.5084	15	10.6174
	0.744	37.5896	0.5084	15	11.0906
AC	0.697	35.3726	0.5000	15	10.6118
	0.811	40.7500	0.5000	15	12.2250
	0.822	41.2689	0.5000	15	12.3807
EE	0.607	24.9388	0.5200	15	7.1939
	0.514	21.5935	0.5200	15	6.2289
	0.740	29.7230	0.5200	15	8.5739
EP	0.408	17.7806	0.5454	15	4.8901
	0.673	27.3129	0.5454	15	7.5118
	0.727	29.2554	0.5454	15	8.0460
EJ	0.589	24.2914	0.5160	15	7.0614
	0.644	26.2698	0.5160	15	7.6366
	0.654	26.6295	0.5160	15	7.7411
HPMC	0.637	32.5425	0.5139	15	9.4987
	0.722	36.5519	0.5139	15	10.6690
	0.751	37.9198	0.5139	15	11.0682
HPMC-EP	0.438	18.8597	0.5337	15	5.3006
	0.659	26.8094	0.5337	15	7.5350
	0.564	23.3921	0.5337	15	6.5745
HPMC-EE	0.335	15.1547	0.5061	15	4.4916
	0.627	25.6583	0.5061	15	7.6047
	0.716	28.8597	0.5061	15	8.5536
HPMC-EJ	0.439	23.2028	0.5049	15	6.8933
	0.643	32.8255	0.5049	15	9.7521
	0.698	35.4198	0.5049	15	10.5228
HPMC-AC	0.257	14.6179	0.5030	15	4.3592
	0.770	38.8160	0.5030	15	11.5754
	0.772	38.9104	0.5030	15	11.6035

DATOS DE TEXTURA

SIN TRATAMIENTO		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.09682843	4.967128531	0.701920439
0.18724074	2.391214547	0.360168142
0.09736698	3.652281904	0.603405301
0.10131387	4.518295215	0.697747318
0.06251857	3.933210131	0.54680021
0.0189126	4.890676825	0.74698795
0.0686097	4.506694679	0.676940964
0.19946619	2.292376314	0.352419436
0.06575617	6.155847686	0.993609506
0.04884838	3.047225111	0.551277829
0.20443416	3.194443945	0.797453118
0.09326776	5.149137145	0.723146022
0.08100255	5.376382721	0.731449386
0.06593725	3.974289619	0.601808363
0.1576213	3.636771431	0.561640203
0.63067821	6.856687252	0.988700582
0.00752326	4.347122683	0.774623524
0.40466905	5.091387424	0.698238695

ÁCIDO CÍTRICO		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.09520737	4.16162919	0.715961012
0.05503689	7.203446987	0.964886515
0.15857013	5.248724621	0.915572249
0.3517082	1.893618987	0.315511343
0.08885281	2.954393381	0.426647699
0.12839933	2.645094616	0.366526137
0.16827576	8.536035155	1.279809359
0.07093697	4.163671114	0.728507777
0.16669931	3.732385212	0.616782183
0.12	2.96444456	0.512947565
0.13035027	5.894575361	0.827491246
0.09173307	4.078962164	0.59620472
0.08112202	5.007897215	0.940780608
0.47132686	4.009296101	0.54349809
0.20814302	2.529611199	0.377380991
0.06605382	1.916946901	0.248087639
0.0217082	1.953131152	0.255874394
0.0124642	3.655084688	0.645771749

EXTRACTO DE EPAZOTE		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.09102491	3.767838575	0.911421317
0.41230987	4.903315701	0.72313939
0.06887604	6.757436562	0.917148722
0.19077416	6.079199269	0.952238221
0.06812902	3.260973941	0.605243731
0.18683717	3.153242253	0.61701866
0.05559594	4.037044858	0.606920856
0.02573674	3.448128899	0.567625579
0.70789014	6.660628028	1.144326155
0.2277561	6.122624208	1.087408892
0.20208855	4.624768938	0.677623624
0.09814986	8.954172518	1.171727014
0.05347308	2.350089415	0.438319747
0.30465081	3.19672282	0.525777172
0.13090197	7.453444897	1.201427959
0.06043225	4.933387426	0.79910163
0.089	2.596068879	0.498992709
0.0234641	3.95735408	0.563045571
0.07	5.60007573	0.896586197
0.047	5.878036103	0.902312621
0.15169807	5.553854703	0.931145372

EXTRACTO DE PEREJIL		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.4767985	4.794717597	0.727759688
0.30402112	2.943338861	0.438145178
0.75206192	4.404606022	0.779436089
0.31640312	4.054252609	0.613107036
0.09572135	1.895922754	0.687941211
0.05506489	6.183579312	1.128634493
0.14188225	8.296750416	1.257125072
0.07832116	6.508054852	0.887399857
0.112	7.929178907	0.984739915
0.012	8.034148718	1.194801557
0.0953589	7.497276619	1.393341742
0.27784697	6.422106541	1.017504397
0.22712922	5.992850506	0.856190661
0.16761546	4.658015742	0.628384118
0.04497035	2.784511474	0.416447844
0.20598864	1.157706025	0.228584473
0.126	3.87804133	0.579367257
1.27365725	6.021572129	0.923413654
0.10844492	3.019765279	0.516522694
0.11995285	4.524314558	0.774006642
0.28904887	6.270845112	0.877346626

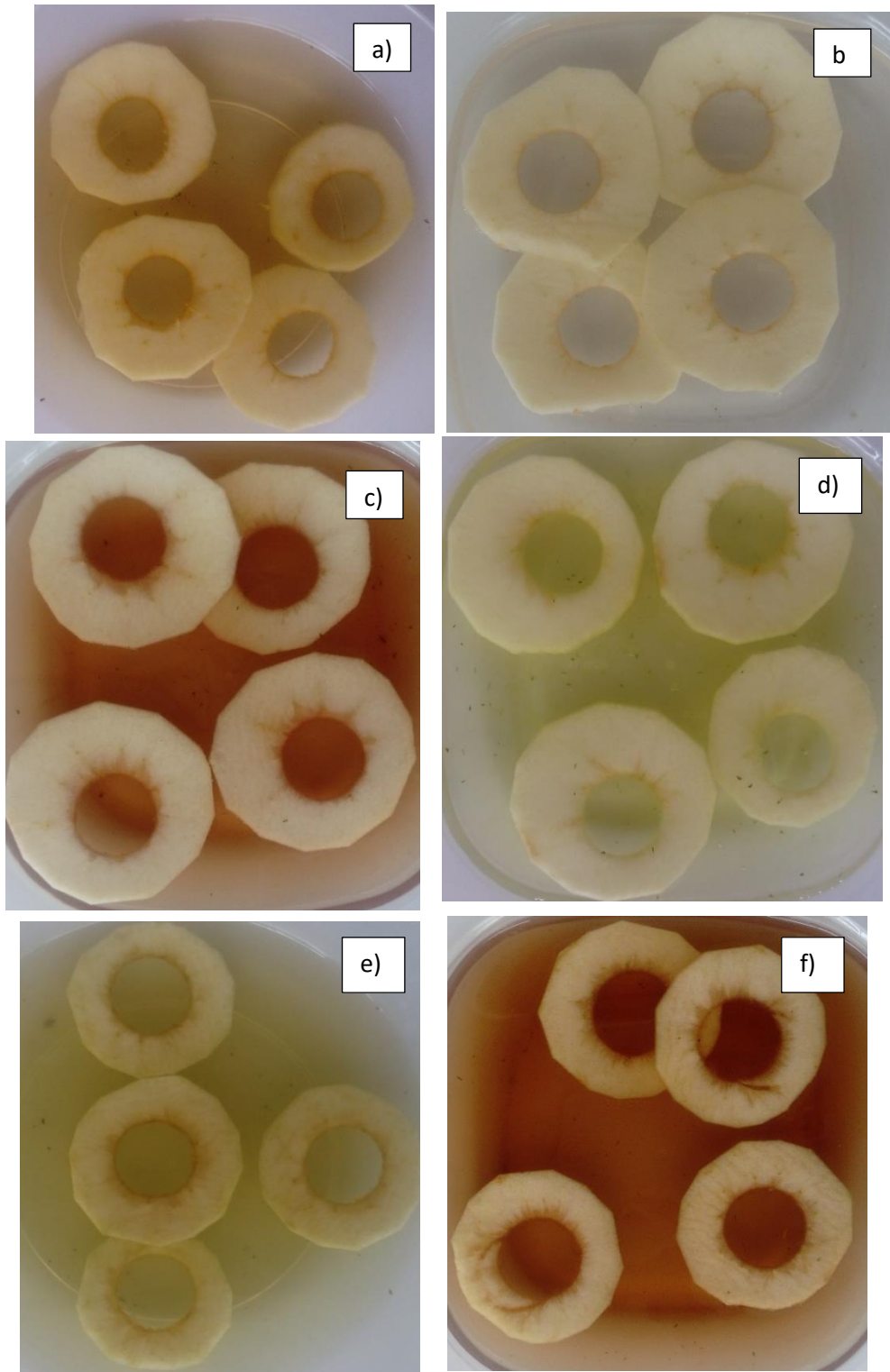
EXTRACTO DE JENGIBRE		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.06320092	4.823549537	0.704921419
0.15173174	1.676561826	0.467478162
0.23044801	7.596087308	1.230723171
0.16153457	5.455402537	1.027715803
0.01467446	6.46183066	0.980622691
0.05648528	4.265929323	0.680427255
0.21186888	7.878285939	1.164145527
0.01927343	7.363433696	1.060403524
0.0523259	8.34522596	1.379289548
0.16372837	11.59139239	1.81391008
0.11576124	7.056216924	1.012251314
0.2043743	7.180951664	1.104443689
0.31966563	9.062455936	1.592987924
0.19636357	5.560908528	0.712271255
0.14072424	3.071712399	0.597427044
0.09240926	6.310403446	0.926937478
0.15068607	5.773563276	0.967173912

HPMC		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
1.55614912	10.98201907	1.485331653
0.11753666	1.87668821	0.860095648
0.25447403	9.935517181	1.641393846
0.94441684	8.273110851	1.433853614
1.27844903	13.00647666	1.730237313
0.07008204	5.79516569	0.775150965
0.33459702	10.39694293	1.418451793
0.10191169	5.850024274	0.762581323
0.23764933	3.221354902	1.224099282
0.24498154	8.497663629	1.189787693
0.30387315	6.711526513	0.972039091
0.20160668	4.097058851	1.299902195
0.69379781	10.56149056	1.51254556
0.09156589	5.656174206	1.407694631
0.13959129	8.87037931	1.16111511
0.08502439	4.905229184	1.327712111
0.22265794	3.505815933	1.176248845

HPMCE-EE		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.78707808	15.3869169	2.081301634
0.46645913	7.36554391	0.996561043
1.61896397	14.51204608	2.034050598
0.32929444	5.818237807	0.876766094
0.59688027	12.44376317	1.669371737
0.49464629	11.49416716	1.625968484
0.67846726	11.53428682	1.63602242
0.73209074	9.224509665	1.342241414
0.87991097	10.25507068	1.454410687
0.64459455	7.926722088	1.038112322
0.48087327	11.49809677	1.848493634
0.86299251	8.283140648	1.127415334
0.25014966	18.55441712	2.485713259
0.343	13.67778552	1.968166174
1.51267154	14.72492869	2.27795946
0.26382184	13.67109371	2.015917063
0.00764575	14.41164689	1.882333651
0.9859969	15.06493698	2.310100042
0.16745586	11.79523343	1.53741482
0.14174943	10.30921086	1.556695342

HPMC-EP		
Crispiness	Crunchiness	Hardness (N)
0.80237782	13.88628337	2.045993456
0.27412472	10.66087574	1.395999653
0.87129338	11.83259229	1.792956577
0.31246372	13.57145773	1.85501907
1.65372017	13.39482596	1.92497906
0.47454238	11.41426189	1.83053172
0.62364783	13.47104641	1.789647031
0.0495941	6.838326029	2.087488019
0.07382843	10.20743372	1.299831283
1.47214662	13.59335102	2.145180877
0.24668552	9.670137955	1.262567295
0.20161062	10.61005968	1.53686727
0.083	4.856315074	1.508857347
0.6703371	9.805441547	1.453737566
0.01324745	10.67995063	1.628316033
0.47353003	5.466504178	0.932486344
1.09060633	12.67661734	1.788631541
1.88149796	9.587285493	3.166672161
0.1373381	14.51989591	1.822578161
0.29691828	10.33020611	1.397137612

ANEXO FOTOGRÁFICO



Inmersión de rodajas de manzana en extractos vegetales. a) tomillo, b) jengibre, c) hierba buena, d) perejil, e) epazote y f) cilantro



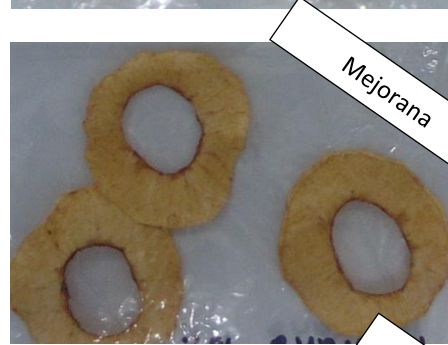
Sin tratamiento



Hierba buena



Orégano



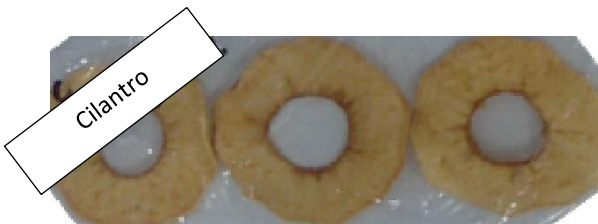
Mejorana



Epazote



Perejil

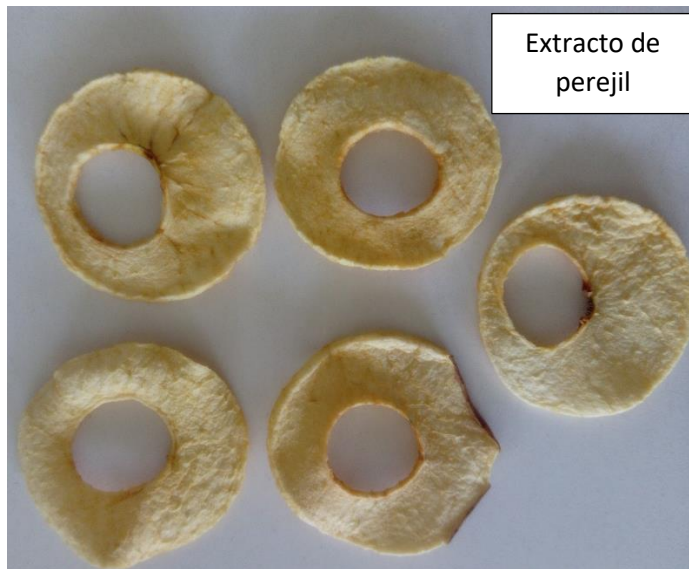
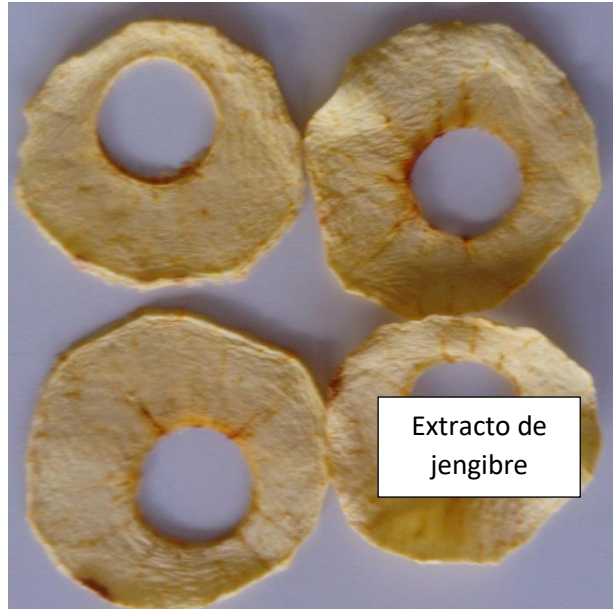


Cilantro

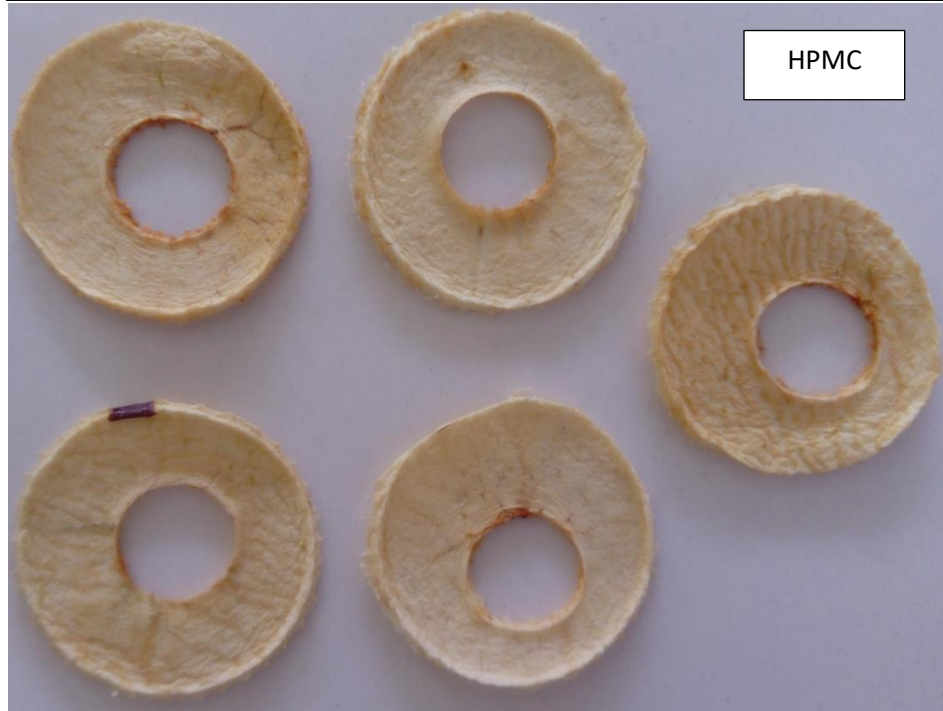
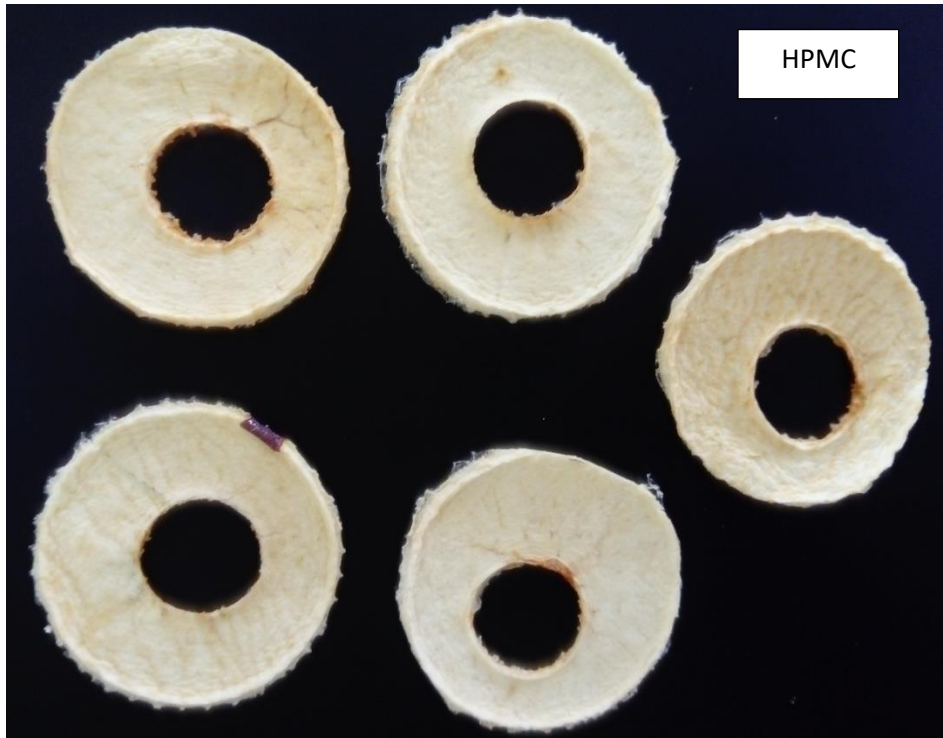


Tomillo

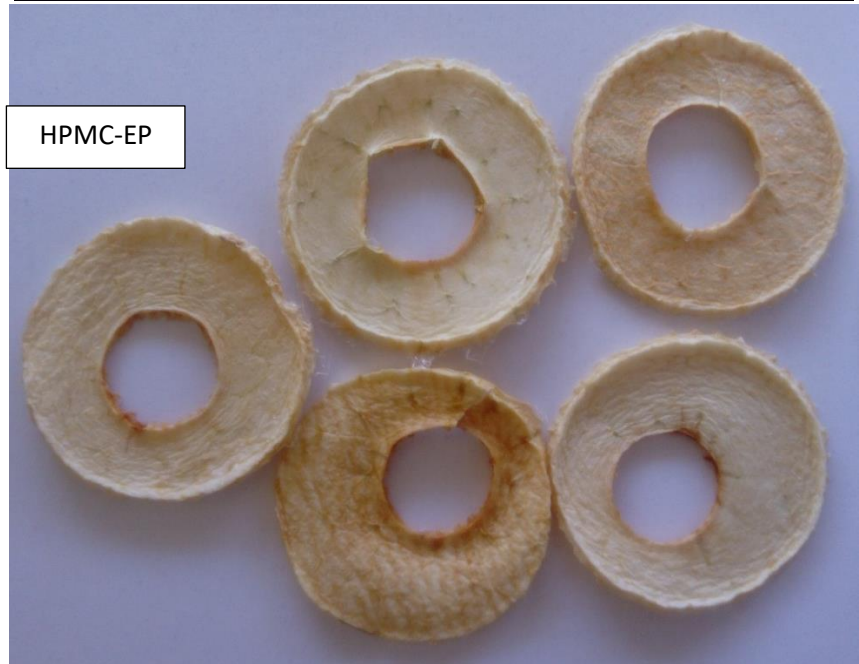
Rodajas de manzana deshidratadas con pretratamientos de extractos vegetales



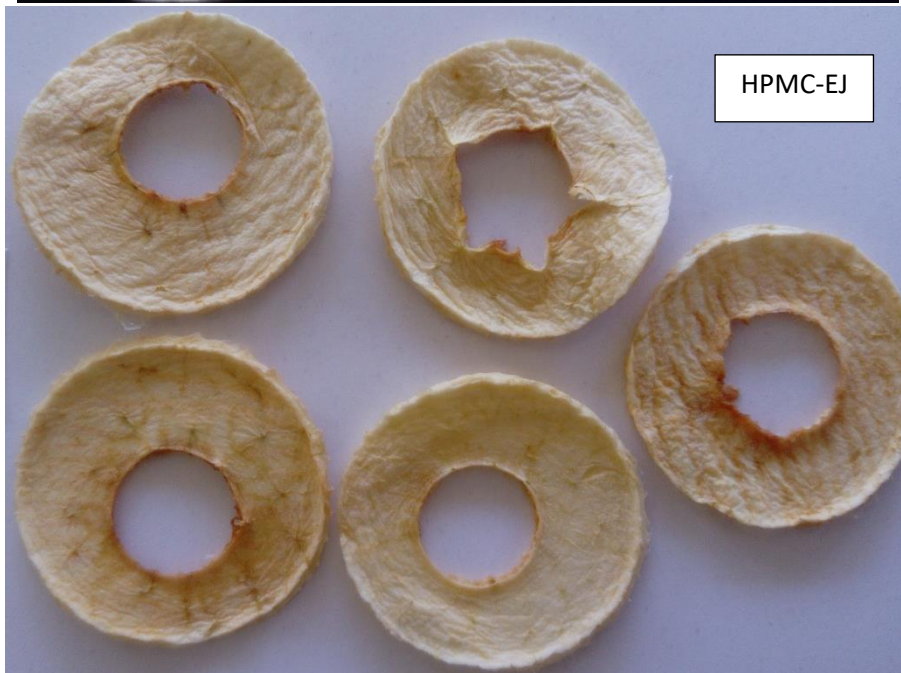
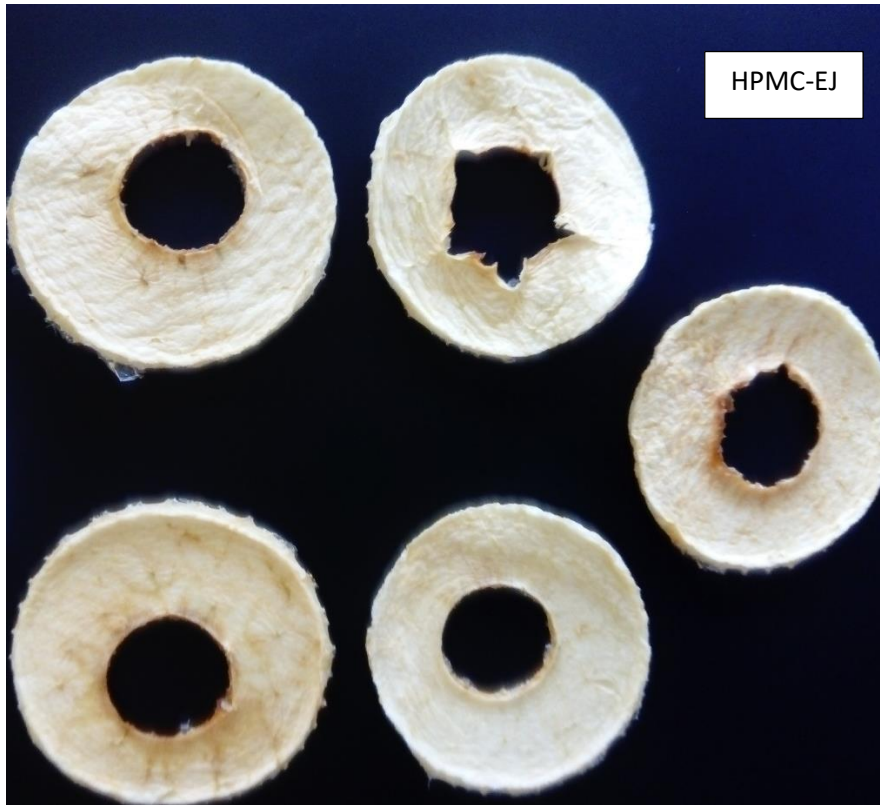
Rodajas de manzana deshidratadas con mejor aspecto



Rodajas de manzana deshidratadas con recubrimientos de HPMC



Rodajas de manzana deshidratadas con recubrimientos de HPMC con extracto de epazote



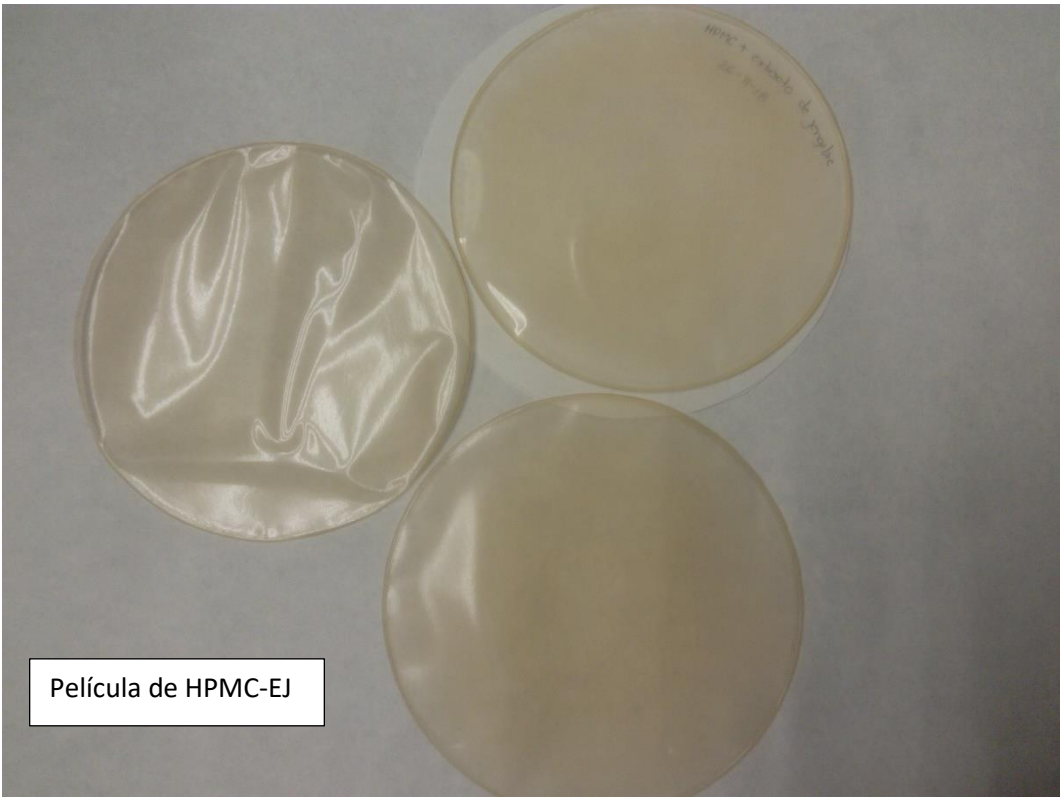
Rodajas de manzana deshidratadas con recubrimientos de HPMC con extracto de jengibre



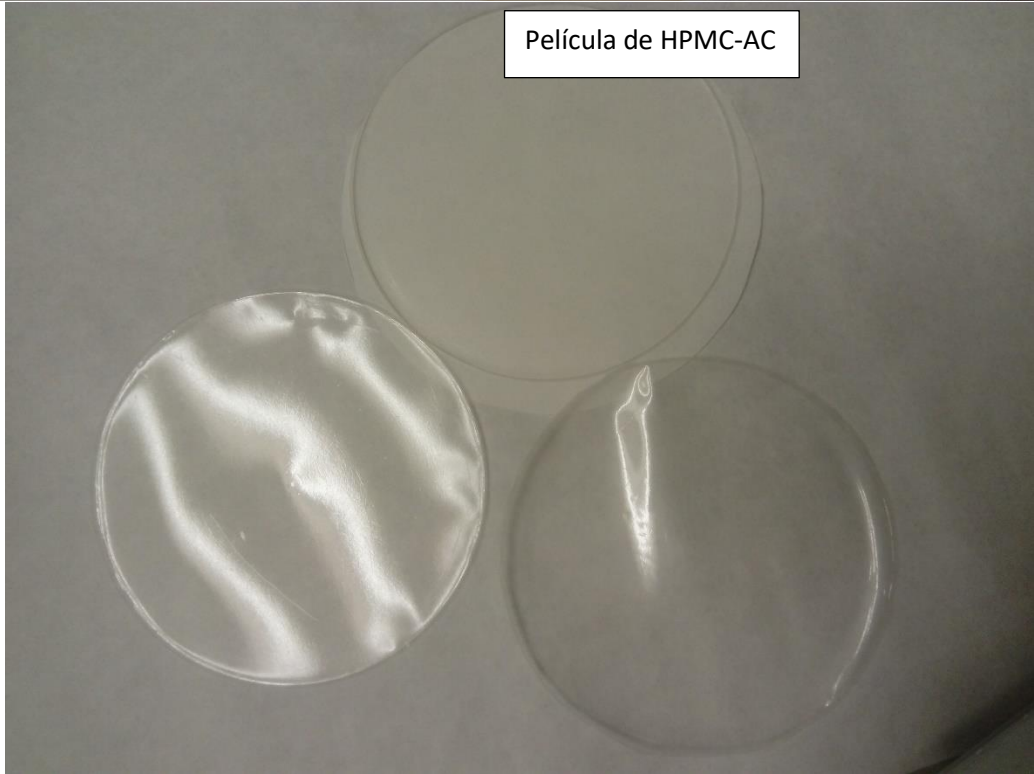
Recubrimientos de HPMC , HPMC-EJ Y HPMC-AC



Película de HPMC



Película de HPMC-EJ



Película de HPMC-AC