



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“Efecto de la infiltración ultrasónica de nanocápsulas de aceite esencial de romero en papa mínimamente procesada refrigerada”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA

CLAUDIA ARIAS GUTIÉRREZ

ASESORES

DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA

I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO. 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Efecto de la infiltración ultrasónica de nanocápsulas de aceite esencial de romero en papa mínimamente procesada refrigerada.

Que presenta la pasante: Arias Gutiérrez Claudia

Con número de cuenta: 414024098 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 14 de mayo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q.I. José Oscar Germán Ibarra	
VOCAL	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
SECRETARIO	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er. SUPLENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
2do. SUPLENTE	I.A. Arturo Munguía Sánchez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

- Al proyecto PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanopartículados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas” de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM), por el financiamiento para la realización de este trabajo
- Al proyecto PIAPI1801 “Evaluación y diseño de sistemas nanopartículados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal. Proyecto interno de FES-Cuautitlán-UNAM, por el apoyo en la adquisición de reactivos para el desarrollo de este trabajo.
- Claudia Arias Gutiérrez, agradece el apoyo técnico para la realización de pruebas colorimétricas y texturales de la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas, en el Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la UIM.

LUGAR DE REALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos L-16, Campo IV FES-Cuautitlán-UNAM.

Dedicatorias

A mis padres: **María Eugenia Gutiérrez Villeda** y **Julio Víctor Arias Ramírez**, por ser ambos la inspiración, el motivo, el apoyo y sobre todo, el amor que comenzó el sueño de convertirme en una profesionista, por su cuidado y motivación incondicional, por ser mi hogar y mis mentores, por sus valores, fortaleza y sentimientos que hacen que día con día los admire más, por todo lo que han sembrado en mí y por lo que está dando frutos, gracias por llevarme a este punto de mi vida para realizarme académica y profesionalmente, los amo como jamás las palabras podrán expresar. Esto es nuestro.

A mi Madre en especial: ¡Gracias infinitas! Sigues aquí, en cada paso que doy, en cada decisión que tomo, tus consejos y tu amor siempre están presentes; mi compañera y mejor amiga, cada segundo que vivo, tú lo vives conmigo, esto es fruto de nuestros desvelos, esfuerzos y sueños incansables, es para ti cada meta cumplida, aún en esta amarga distancia física, tú me acompañas y me siento muy orgullosa de lo que hemos logrado juntas, te amo con el alma y eternamente. *«Por ti lo haría mil veces más.»*

A mi hermano Julio, por tu resiliencia en los momentos complicados, por compartir tantas historias que forman parte de lo que somos hoy. A mis tíos Laura y Javier, por sus palabras de aliento, por su apoyo y cariño. A Titis por tu amor y cuidado, te recuerdo siempre, gracias por tanto, esto es para ti.

A Ernesto, gracias por el incondicional apoyo en los momentos de alegría y en los más difíciles, por ser y estar siempre, por tanto amor siempre correspondido. A Carol, por ser una amiga auténtica, por acompañarme durante tantos años, por ser familia, psicóloga y cómplice para mí.

A mis amigos y también colegas: Ingrid, Cristina, Tania, David Omar, Luis y Diego, por demasiadas risas, apoyo académico y personal, estrés compartido e incontables momentos felices durante esta etapa universitaria, hicieron el camino más ameno, y lo llenaron de recuerdos que llevaré por siempre en mi mente y en el corazón, por estudiar, reír, disfrutar y crecer juntos. Los quiero mucho, que ésta amistad prevalezca toda una vida.

A la Dra. Luz Zambrano y al I.A. Alfredo Álvarez, gracias por compartir su conocimiento y experiencia conmigo, por apoyarme y brindarme su paciencia durante la realización de este trabajo, por corregirme cuando era necesario y ayudarme a crecer académicamente, ha sido un placer compartir con ustedes los últimos meses de mis estudios, los admiro y estimo mucho.

A mis sinodales I.Q.I. José Oscar Germán, M. en C. Tais Nopal, Dra. Luz Zambrano, I.A. Miriam Álvarez e I.A. Arturo Munguía, gracias por su ayuda y revisión en la realización de este trabajo.

A mis profesores, Laura Cortázar, Francisco Javier López, Luz Zambrano, Miriam Álvarez, que además de ser mis mentores académicos, se convirtieron en consejeros de vida, por escucharme y apoyarme en mi momento más difícil y motivarme a seguir adelante: los admiro no solo profesionalmente sino como las grandes personas que son.

Finalmente a mi querida **Universidad Nacional Autónoma de México**, me llena de orgullo saber que mi educación universitaria fue en la Máxima Casa de Estudios de este país, por darme un lugar a donde pertenecer, enseñanzas académicas y también para la vida, personas extraordinarias, una nueva forma de ver mi alrededor, viajes, momentos, experiencias y sin duda un mejor futuro, porque en sus aulas he sido tan feliz, porque la UNAM será el lugar al que siempre querré regresar y la casa que siempre querré honrar.

“Por mi raza hablará el espíritu”

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I. ANTECEDENTES	
1.1. Papa	1
1.1.1. Producción y consumo de papa en México	1
1.1.2. Características generales de la papa	2
1.1.3. Composición química de la papa	4
1.2. Métodos de conservación de papa	6
1.2.1. Papa mínimamente procesada	6
1.3. Tecnología ultrasónica	8
1.4. Uso de ultrasonido en la industria alimentaria	9
1.5. Nanotecnología	9
1.5.1. Métodos de nanoencapsulación	11
1.5.2. Nanoencapsulación de aceites esenciales	15
1.6. Aceite esencial de romero	15
CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
2.1. Objetivo general y particulares	17
2.2. Acondicionamiento del generador de ultrasonido	18
2.3. Selección del polisacárido soporte	19
2.4. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	20
2.5. Control de la materia prima	21
2.6. Diseño experimental	21
2.7. Preparación de las muestras	22
2.8. Determinación de aceite esencial de romero infiltrado	24
2.9. Medición de O ₂ y CO ₂ en el espacio libre de cabeza	24
2.10. Medición de color	25
2.11. Prueba de punción	26
2.12. Determinación de pH	26
2.13. Determinación de concentración de fenoles totales	27
2.14. Determinación de actividad enzimática peroxidasa	27
CAPITULO III. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
3.1. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	28
3.2. Absorción de aceite esencial de romero por acción ultrasónica	29
3.3. Cambios en la concentración de O ₂ y CO ₂ en el espacio libre de cabeza durante el almacenamiento	33

3.4.	Cambios colorimétricos durante el almacenamiento	33
3.5.	Cambios en el pH durante el almacenamiento	42
3.6.	Cambios en la firmeza durante el almacenamiento	43
3.7.	Cambios en la concentración de fenoles durante el almacenamiento	44
3.8.	Cambios en la actividad enzimática peroxidasa durante el almacenamiento	46
	CONCLUSIONES	49
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Nombre de la figura	Página
Figura 1.	Papa para consumo fresco.	2
Figura 2.	Diferentes estructuras de nanocápsulas.	10
Figura 3.	Estructura química de ácido carnósico y ácido rosmarínico.	16
Figura 4.	Homogeneizador ultrasónico <i>Hielscher UP200Ht</i> con sonotrodo S25D4018.	19
Figura 5.	Muestras de papa mínimamente procesada por ultrasonido para la infiltración de diferentes polisacáridos.	19
Figura 6.	Acondicionamiento de la cámara de refrigeración.	20
Figura 7.	Papa variedad alfa.	21
Figura 8.	Muestras almacenadas en el espacio refrigerado.	23
Figura 9.	Espectrofotómetro <i>Genesys 10 S UV-VIS</i> .	24
Figura 10.	Medidor de gases <i>Quantek Instruments</i> .	25
Figura 11.	Agrocolorímetro marca <i>Apollinaire</i> .	26
Figura 12.	Texturómetro <i>Brookfield CT3</i> .	27
Figura 13.	Potenciómetro <i>Hanna PH213</i> .	27
Figura 14.	Variación de la temperatura del espacio refrigerado.	28
Figura 15.	Variación de la humedad relativa del espacio refrigerado.	29
Figura 16.	Absorción de mg de aceite esencial de romero por g de papa respecto al tratamiento.	30
Figura 17.	Aceite de romero infiltrado respecto a número de ciclos y amplitud de onda.	31
Figura 18.	Concentración de oxígeno en el espacio libre de cabeza durante el almacenamiento.	32
Figura 19.	Tratamiento de infiltración con ultrasonido en papa.	34
Figura 20.	Cambios en la luminosidad durante el almacenamiento.	35
Figura 21.	Cambios en la cromaticidad durante el almacenamiento.	37
Figura 22.	Cambios en el ángulo tono (°Hue) durante el almacenamiento.	38
Figura 23.	Esfera de cromaticidad.	39
Figura 24.	Cambios en el índice de oscurecimiento durante el almacenamiento.	40
Figura 25.	Muestras de papa tratada, después de 3 días de almacenamiento a 4°C.	41
Figura 26.	Cambios de firmeza durante el almacenamiento.	43
Figura 27.	Cambios en la concentración de fenoles durante el almacenamiento.	45

Figura 28. Cambios en la actividad enzimática peroxidasa durante el almacenamiento.

47

ÍNDICE DE TABLAS

Número	Nombre de la tabla	Página
Tabla 1.	Variables experimentales durante el almacenamiento de papa mínimamente procesada.	22
Tabla 2.	Cambios en la concentración de dióxido de carbono durante el almacenamiento.	33
Tabla 3.	Cambios en el pH respecto al tratamiento y tiempo de almacenamiento.	42

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la aplicación de ultrasonido en la infiltración de nanocápsulas de aceite esencial de romero para la conservación de papa mínimamente procesada, midiendo las propiedades físicas, fisicoquímicas, texturales y enzimáticas de la papa (*Solanum tuberosum*) que fue almacenada en refrigeración a 4°C (+/- 1°C) durante 7 días. La papa pretratada fue muestreada en los días 1, 3 y 7 de almacenamiento para las mediciones de: aceite esencial de romero infiltrado, O₂ y CO₂ en el espacio libre de cabeza del envase, color, firmeza, pH, actividad enzimática peroxidasa y concentración de fenoles totales, para la experimentación se estudiaron 4 lotes con diferentes ciclos de acción ultrasónica y porcentaje de amplitud de onda. 1) ultrasonido de 5 ciclos y 50 % de amplitud, 2) ultrasonido de 5 ciclos y 70% de amplitud, 3) ultrasonido de 15 ciclos y 50% de amplitud, 4) ultrasonido de 15 ciclos y 70 % de amplitud, se realizaron dos lotes control en los cuales la papa fue inmersa durante 90 min en: 5) nanocápsulas de aceites esencial de romero en soporte de goma arábica, 6) goma arábica (2.5%). Los resultados obtenidos mostraron una sinergia entre el aceite esencial de romero y la conservación de parámetros colorimétricos, y una influencia positiva en las diferentes propiedades medidas superior al tratamiento control sin nanocápsulas de aceite esencial de romero, por otra parte, el uso de ultrasonido de 15 ciclos demostró un ahorro de tiempo de más de 86 min frente al tratamiento control de nanocápsulas sin ultrasonido, absorbiendo cantidades de aceite esencial de romero muy similares.

INTRODUCCIÓN

El consumo de alimentos mínimamente procesados, se ha vuelto popular en los últimos años debido a su conveniencia y beneficios a la salud (Teoh et al., 2016); frente a la gran demanda de alimentos, los productos con procesamiento mínimo presentan una gran ventaja sobre los productos totalmente procesados, gracias a la reducción de costos de transporte, espacio de almacenamiento y tiempo de preparación (Cabezas-Serrano et al., 2009), estos procesos son aplicados a frutas y hortalizas, como la papa, *Solanum tuberosum*.

Los tubérculos de papa, son el cuarto cultivo más sembrado en el mundo (Román et al., 2002), sin embargo, operaciones como pelar, cortar, triturar o rebanar aumentan en gran medida el daño tisular en los tubérculos de papa mínimamente procesados puesto que están expuestos al rápido oscurecimiento enzimático (Ierna et al., 2017, b), debido a la oxidación de los sustratos fenólicos, cuyo contenido puede modificarse en gran medida mediante los procesos de cosecha, poscosecha y tecnológicos (Akyol et al., 2016).

Los métodos de conservación más utilizados para la papa cortada son la congelación y la esterilización; no obstante, estos métodos pueden ocasionar pérdidas de calidad o nutricionales causadas por daños estructurales en la congelación, así como la desnaturalización y pérdidas de vitaminas causadas por las altas temperaturas en la esterilización (Rivera et al., 2003).

Por otra parte, la aplicación de un procesamiento mínimo incrementa el deterioro debido al aumento de las actividades metabólicas y la interacción de enzimas y sustratos, causando oscurecimiento, ablandamiento, así como el desarrollo de sabor desagradable (Cabezas-Serrano et al., 2009).

Para mejorar la calidad de los productos recién cortados, se utilizan tratamientos superficiales que incluyen la inmersión del alimento en soluciones acuosas que contienen agentes antimicrobianos, antioxidantes, sales de calcio o ingredientes funcionales (Lombardo et al., 2017).

Estas sustancias utilizadas para la conservación se pueden encontrar en algunos aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos con capacidad antioxidante (Erkan et al., 2008) tales como tocoferoles, flavonoides, entre otros, estos evitan los problemas de toxicidad que surgen debido al uso de antioxidantes sintéticos, como hidroxianisol-butyl, hidroxibutil tolueno y galato de propilo (Amarowicz et al., 2000) e incluso contribuyen a un cambio favorable en el olor y sabor del producto.

Extractos y aceites esenciales de hierbas, como el romero, *Rosmarinus officinalis* L., contienen sustancias fitoquímicas que son fuentes potenciales de diterpenos fenólicos, flavonoides, taninos y ácidos fenólicos; antioxidantes naturales (Erkan et al., 2008), en el aceite esencial de romero se han identificado α -pineno, β -pineno, canfeno, ésteres terpénicos como el 1,8-cineol, alcanfor, linalol, verbinol, terpineol, carnosol, rosmanol, isorosmanol, 3-octanona, isobanil-acetato y β -cariofileno; los ácidos vanílico, caféico, clorogénico, rosmarínico, carnósico, ursólico, oleanólico, butilínico, betulínico, betulina, α -amirina, β -amirina, borneol, y acetato de bornilo (Avila-Sosa et al., 2011).

Poco a poco, se han incluido en los tratamientos de procesamiento mínimo, tecnologías como la nanoencapsulación de los aceites esenciales. La nanotecnología, se ocupa de los materiales y las estructuras que tienen dimensiones que miden hasta mil millonésimas de metro (nanómetro), de manera que en esa escala se desarrollan propiedades diferentes de la materia (Braun et al., 1997).

Con la nanoencapsulación, se confina el compuesto activo en una membrana polimérica (Quintanar-Guerrero et al., 1998), se previene la volatilización de los

aceites esenciales y se extiende su vida útil. De esta manera, las nanocápsulas son infiltradas mediante procesos de transferencia de masa, que a su vez pueden ser combinados con otros tratamientos de procesamiento mínimo.

Una tecnología emergente que asiste estos procesos de transferencia de masa, es el ultrasonido, debido a que genera la compresión y descompresión de tejidos mediante energía acústica (Villaseñor et al., 2012), permitiendo la infiltración de sustancias de talla submicrómica a través de los tejidos por la fuerza impulsora de las ondas sonoras.

Los tratamientos asistidos por ultrasonido han demostrado mayores coeficientes de transferencia de masa, demostrado en la mejora de la difusividad efectiva (Goula et al., 2017) y promueven el mejoramiento en la retención de las sustancias infiltradas (Oladejo et al., 2017), de modo que la aplicación de esta tecnología emergente junto con la nanoencapsulación del aceite esencial de romero como agente antioxidante resulta favorable en la conservación de firmeza y color en lotes de papa mínimamente procesada, en un menor tiempo de procesamiento.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Papa

La papa, *Solanum tuberosum*, es el cuarto cultivo sembrado en más de 100 países y es el alimento básico de los países desarrollados (en Europa y U.S.A. se consumen 75 kg per cápita anual). La papa pertenece a la familia de las solanáceas. Las especies cultivadas son las Tetraploides que pertenecen a las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum*.

1.1.1 Producción y consumo de papa en México

En México, la papa ocupa el lugar 14 en orden de importancia por superficie sembrada (0.3% del total nacional), el lugar 17 por su producción y el 7º lugar (3.3%) por su valor de la producción. Se cultiva en 24 de los 32 estados de la República, distribuidos en diferentes regiones del país.

Los principales estados productores son Sonora, Sinaloa, Veracruz, Puebla, Nuevo León y México con una producción de cientos de miles de toneladas en cada estado. Los principales estados por superficie cosechada son Sinaloa, Sonora, Puebla, Veracruz, México, Nuevo León y Chihuahua, los cuales abarcan 80% de la superficie cosechada; solo los primeros cinco estados comprenden 69% de esa superficie (CONPAPA, 2013).

En cuanto al consumo total, a nivel del continente americano, México ocupa el 6º lugar, con un consumo anual de 1,880,000 toneladas, aún y cuando la papa se produce casi todo el año, el consumo per cápita es muy bajo; en el año 2000 fue de

16.2 kg, para 2007 aumentó a 17 kg por habitante y en el 2013 alcanzó 17.1 kg (Vázquez et al., 2012).

El 56% de la producción nacional de papa se destina al consumo en fresco, 29% a la industria, 15% como semilla para las siembras del siguiente ciclo de cultivo, no obstante; el consumo de papa procesada en México ha sido creciente en los últimos años como consecuencia de la expansión de la industria de la comida rápida.

En México, las variedades más utilizadas para consumo fresco son las siguientes: Alpha, Adora, Bintje, Cardinal, Diamante, Escord, Felsina, FL1867, Furore, Greta, Giant, Mundial, Prevalent, Procura, entre otras (Luque-Sainz, 2014).



Figura 1. Papa para consumo fresco (Luque-Sainz, 2014).

1.1.2 Características generales de la papa

Semilla: La germinación puede darse a partir de semilla sexual o semilla tubérculo. La semilla sexual se utiliza para mejoramiento genético y obtención de nuevas variedades, germina generalmente después de 8 a 10 días de haber sido sembrada y haber pasado por un periodo de reposo de 4 a 6 meses.

Por otra parte, la semilla tubérculo, requiere un período de reposo de 2 a 3 meses; después de ese período emite brotes de 0.5 a 1 cm de longitud, y es cuando el tubérculo está apto para la siembra, esta es la semilla más utilizada. La planta emerge después de 12 días de haber sido sembrada.

Raíz: Se forma a partir de la semilla de tubérculo y es de textura fibrosa, posee muchas raíces ramificadas sin tener una raíz principal. Su mayor crecimiento lo desarrolla en los primeros 0.20 m de profundidad, extendiéndose lateralmente de 0.30 hasta 0.60 m. Las raíces laterales fibrosas pueden llegar hasta 1.20m de profundidad, en suelos francos y profundos.

Hojas: Son compuestas, presentando un folíolo terminal, algunos laterales secundarios, pecíolos, raquis y hojas pseudoestipulares; alcanza su máximo crecimiento a los 35 ó 40 días. La altura de la planta varía de 0.40 a 0.90 m.

Flor: En la papa la floración es a partir de una pentámera tetracíclica, que posee 5 estambres de color amarillo, anaranjado y un solo pistilo. La inflorescencia de la papa es una cima terminal que puede ser simple o compuesta. El color de las flores es variable: rosado, blanco, morado (varios tonos) o mezcla de dos colores. No todas las variedades provenientes de papa tubérculo y de semilla sexual florecen y forman bayas, en las variedades provenientes de semilla sexual la floración se retarda alrededor de dos semanas más.

Fructificación: Los tubérculos comienzan a formarse a partir de los estolones, que son tallos laterales que crecen dentro del suelo y son emitidos por los tallos principales, cuando la planta comienza la floración (en variedades que florecen); generalmente esto ocurre de 35 a 45 días después de la siembra. Los tubérculos están formados a los 60 días, desarrollándose hasta cuando la planta alcanza su madurez fisiológica: 90 días para variedades precoces, y 110 a 120 para variedades de ciclo intermedio, y más de 120 para variedades tardías.

Los tubérculos son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta de papa. Un tubérculo tiene dos extremos: el basal, o extremo ligado al estolón, que se llama talón, y el extremo opuesto, que se llama extremo apical o distal. En la mayoría de las variedades comerciales, la forma del tubérculo varía entre redonda, ovalada y oblonga. Además de estas formas, algunos cultivares primitivos producen tubérculos de diversas formas irregulares. En un corte longitudinal el tubérculo muestra los elementos siguientes, del exterior hacia el interior: eperidermo o piel, corteza, sistema vascular, parénquima de reserva y tejido medular.

El eperidermo o la piel es una delgada capa protectora en el exterior del tubérculo. Su color puede variar entre blanco crema, amarillo, naranja, rojo o morado. Algunos tubérculos tienen dos colores. Cuando se exponen a la luz por unos días, se tornan normalmente de color verdoso. La piel es generalmente suave y en algunas variedades es tosca o áspera. La piel sale fácilmente al frotarla cuando el tubérculo no ha madurado.

Papa Alpha

Tiene un tubérculo ovalado con cascara amarilla y pulpa amarilla ligera. La planta es mediana, extendida y tiene varias flores, tiene un rendimiento alto, su madurez es muy tardía de 130 a 140 días. La planta es resistente a sequías, altas temperaturas, maltrato, tizón tardío y sarna común, es susceptible a enrollamiento de hoja y PVY (virus de la papa). En almacenamiento dura largo tiempo con poca brotación (OIEDRUS, 2009).

1.1.3 Composición química de la papa

Aun variando de unas especies a otras el tubérculo se compone aproximadamente de 75 % de agua, 2 % de sustancias nitrogenadas, 0,15 % lípidos, 20 % de fécula, 1 % de celulosa.

La papa está compuesta por cantidades variables de proteínas, minerales y por lo tanto el porcentaje total de sólidos y del contenido de azúcares reducidos de los tubérculos, depende en gran medida de la variedad. Variedades de papa como la Alpha presentan un porcentaje de sólidos de alrededor del 16% (Luque-Sainz, 2014).

La papa contiene varias vitaminas, incluyendo la vitamina C, riboflavina, tiamina y niacina. Además, la papa contiene metabolitos que resultan ser beneficiosos para la salud humana tales como compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides.

Los polifenoles son importantes antioxidantes en la alimentación humana, siendo la papa una buena fuente de ellos, tienen un amplio rango de características promotoras de la salud. Estudios han revelado que las papas son consideradas la tercera fuente de fenoles después de manzanas y naranjas. Estos compuestos están presentes tanto en la piel como en la pulpa de las papas (Muñoz, 2014).

Los compuestos fenólicos son efectivos donadores de hidrógenos, particularmente los flavonoides. Su potencial antioxidante es dependiente del número y de la posición de los grupos hidroxilos y de su conjugación, así como de la presencia de electrones donadores en el anillo estructural. Debido a la capacidad que posee el grupo aromático de soportar el desapareamiento de electrones por desplazamiento del sistema de electrones- π (Peña et al., 2013).

La presencia de fenoles en la papa ocasiona el ennegrecimiento de esta y puede causar un deterioro durante el almacenamiento o procesamiento. Sin embargo, los fenoles presentes en la papa pueden llegar a tener efectos benéficos sobre la salud; muestran una fuerte actividad antioxidante, especialmente los que se encuentran en la cáscara (Peña et al., 2013). Los compuestos fenólicos presentes en tubérculos de papa incluyen: fenoles monohídricos, cumarinas, flavonas, taninos y lignina (Lisinska et al., 1989).

1.2 Métodos de conservación de la papa

Los tubérculos de papa son productos que destacan por su limitada comercialización cuando se someten a procesos de pelado y cortado, debido al oscurecimiento enzimático ocasionado por la polifenoloxidasas, que oxida compuesto polifenólicos y desencadena reacciones que dan como resultado melanoidinas, provocando así una coloración oscura que compromete parámetros de calidad.

Los métodos de conservación más utilizados para la papa cortada son la congelación a -30°C y la esterilización que conlleva una precocción. Sin embargo estos métodos pueden ocasionar pérdidas de calidad o nutricionales causadas por daños por frío en la congelación, y desnaturalización y pérdidas de vitaminas causadas por las altas temperaturas en la esterilización (Rivera Velasco et al., 2003). Es por ello por lo que en la actualidad se optan por métodos de procesamiento mínimo para la conservación de papa cortada.

1.2.1 Papa mínimamente procesada

La refrigeración es uno de los tratamientos más utilizados para la conservación de papa mínimamente procesada, sin embargo, resulta poco efectiva si no se combina con otros pre-tratamientos.

Algunos tratamientos auxiliares para la conservación de la papa son el uso de conservadores que son infiltrados a través de distintos procesos, como los pretratamientos osmóticos que conllevan a la deshidratación osmótica, la cual es una operación utilizada para la eliminación parcial de agua de los tejidos vegetales por inmersión en una solución hipertónica (osmótica). La eliminación de agua se basa en fenómeno natural y no destructivo de ósmosis a través de las membranas celulares.

La conducción fuerza para la difusión de agua desde el tejido en la solución es proporcionada por la mayor presión osmótica de la solución hipertónica. La difusión del agua está acompañada por la contra-difusión simultánea de solutos de la solución osmótica en el tejido (Rastogi et al., 2005). Dado que la membrana celular responsable del transporte osmótico no es perfectamente selectiva, solutos presentes en las células (ácidos orgánicos, azúcares reductores, minerales, sabores) y compuestos de pigmento) también se pueden lixiviar en la solución osmótica (Dixon et al., 1977), que afectan a la organoléptica y características nutricionales del producto.

En los últimos años se han realizado diversos estudios para incorporar tratamientos que mejoren la calidad de la papa en los procesamientos mínimos, por ejemplo, la fertilización de papa con micronutrientes: boro, cobre, hierro, estudio realizado en 2017 por Ierna et al., en el que se obtuvieron mayores valores de luminosidad, y en contenido de ácido ascórbico, que actúa como inhibidor de la enzima polifenoloxidasas (PPO) y que en conjunto resulta en una disminución de oscurecimiento en el producto.

Por otra parte, se han elaborado envases biodegradables en combinación con disoluciones anti-oscurecimiento (Ierna et al., 2017), tecnologías emergentes como radiación ultravioleta en combinación con ácido ascórbico y cloruro de calcio han mostrado una disminución significativa de las actividades enzimáticas que ocasionan el oscurecimiento de la papa mínimamente procesada (Teoh et al., 2016), y otras sustancias como el ácido acético han demostrado un efecto conservador de firmeza de la papa mínimamente procesada en investigaciones realizadas en 2017 por Zhao et al.

Es así, como las sustancias antioxidantes, son aplicadas superficialmente o infiltradas en la papa para la conservación de color, firmeza y la disminución de actividades enzimáticas, para estos tratamientos se pueden utilizar procesos de

transferencia de masa osmóticos o aquellos asistidos por tecnologías emergentes como el ultrasonido para realizar la misma función.

1.3 Tecnología ultrasónica

El ultrasonido es una tecnología basada en la emisión y recepción de ondas sonoras mecánicas, generalmente longitudinales que resultan imperceptibles al oído humano porque su frecuencia se encuentra por encima de los 20,000 ciclos por segundo (20 kHz). Para su origen se requiere la vibración de un cuerpo elástico, y de un medio material para su propagación, algunos de los parámetros que se utilizan a menudo en el ultrasonido son: frecuencia, amplitud, potencia, velocidad de propagación, interacción del ultrasonido con los tejidos, ángulo de incidencia atenuación y frecuencia de repetición de pulsos (Villaseñor et al., 2012).

La frecuencia de una onda de ultrasonido consiste en el número de ciclos o de cambios de presión que ocurren en un segundo. La velocidad de propagación del sonido varía dependiendo del tipo y características del material por el que atraviese, al igual que de factores como la densidad y compresibilidad. Las moléculas en los tejidos más compresibles están muy separadas, por lo que transmiten el sonido más lentamente, por lo tanto, los materiales con mayor densidad y menor compresibilidad transmitirán el sonido a una mayor velocidad.

La potencia de suministro de ondas ultrasónicas cambia conforme el tratamiento transcurre, de igual manera su intensidad disminuye progresivamente a medida que inciden en las estructuras más profundas, fenómeno llamado atenuación, en el que el material absorbe la energía mecánica y ésta se transforma en calor, hecho que se ve reflejado en el aumento de temperatura del medio y del objeto.

La energía acústica que genera el ultrasonido se transmite de una molécula a otra adyacente, lo cual genera una compresión periódica del medio transmisor, el número de veces que se comprime una molécula es la frecuencia.

Por otra parte, la repetición de pulsos es el intervalo de tiempo para que de manera coordinada un pulso de ultrasonido alcance un punto determinado en profundidad y vuelva en forma de eco al transductor antes de que se emita el siguiente pulso.

1.4 Uso de ultrasonido en la industria alimentaria

En los alimentos el uso del ultrasonido es una herramienta que facilita la transferencia de masa de un medio al alimento y viceversa, tal como ocurre en la deshidratación osmótica, pero sin efecto de la presión osmótica.

Debido a la complejidad de las sustancias involucradas en la estructura de un alimento es importante considerar tratamientos que no sobrepasen tiempos de repetición de pulsos superiores a los 30 min, en los que se logra la alteración de estructuras celulares causando la extracción de materiales intracelulares (Gonçalves et al., 2014).

Para transferencia de partículas de un medio del exterior al interior del alimento, son utilizados intervalos de tiempo de acción y reposo por debajo de los 60 ciclos y cuyo tiempo total no conlleve a la sonoquímica (Oladejo et al., 2017). La tecnología ultrasónica es utilizada para infiltrar sustancias de talla submicrómica que atraviese los tejidos con la fuerza impulsora de las ondas sonoras.

1.5 Nanotecnología

La nanotecnología es la ciencia que diseña, caracteriza y produce aplicaciones de sistemas y componentes de talla submicrómica para formar materiales con distintas propiedades.

La nanociencia y la tecnología se ocupan de los materiales y las estructuras que tienen dimensiones que mide hasta mil millonésimas de metro (nanómetro).

Una multitud de propiedades básicas de los materiales se definen por escalas de longitud nanométricas. En nanoescala la física y la química se encuentran y se desarrollan nuevas propiedades de la materia (Braun et al., 1997).

Las nanocápsulas se pueden comparar a los sistemas vesiculares en los que un compuesto activo está confinado en una cavidad que consiste en un líquido interno núcleo rodeado por una membrana polimérica (Quintanar-Guerrero et al., 1998).

La cavidad puede contener la sustancia activa en forma líquida o sólida o como una dispersión molecular (Fessi et al., 1989). Del mismo modo, este depósito puede ser lipófilo o hidrófobo de acuerdo con el método de preparación y las materias primas utilizadas. Además, tomando en cuenta las limitaciones operativas de los métodos de preparación, nanocápsulas también pueden llevar la sustancia activa en sus superficies o embebido en la membrana polimérica.

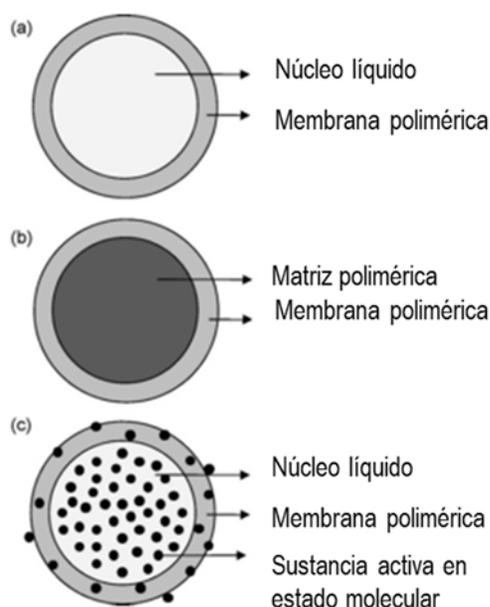


Figura 2. Diferentes estructuras de nanocápsulas: a) Núcleo líquido, b) Matriz polimérica, c) Sustancia activa en dispersión molecular (Mora-Huertas et al, 2010).

1.5.1 Métodos de nanoencapsulación

En general existen seis métodos de preparación de nanocápsulas: nanoencapsulación, emulsión-difusión, doble emulsificación, emulsificación-coacervación, recubrimiento del polímero y capa por capa. Sin embargo, se han usado otros métodos como como emulsión-evaporación y las metodologías para la preparación de liposomas poliméricos.

Por lo general, los procedimientos para la preparación de polímeros pueden clasificarse como técnicas libres de solventes y desplazamiento de solventes. En el primer método, se introduce el polímero anfílico seco en contacto con el medio acuoso y luego se hidrata para formar vesículas. En el segundo método, el copolímero de bloque se disuelve en disolventes orgánicos, luego se agrega agua y posteriormente el solvente es eliminado (Mora-Huertas et al., 2010).

Para alcanzar distribuciones de tamaño monodispersas de las vesículas de polímero, la suspensión obtenida puede ser tratada por sonicación, *vortexing*, extrusión o ciclos de congelación-descongelación o una combinación de estas técnicas.

El proceso de reticulación de los polímeros en bloque permite optimizar las propiedades de la membrana vesicular asociadas con la sustancia activa efecto de protección y liberación (Chécot et al., 2003, citado por Mora-Huertas et al., 2010).

La encapsulación de sustancias activas dentro de las vesículas de polímero se obtiene mediante técnicas de incubación. El componente hidrofílico o la naturaleza lipofílica de la molécula activa, determina la elección de la naturaleza núcleo polimérico que a su vez se obtiene de acuerdo con el polímero de bloque elegido y a la técnica de ensamblaje.

a) Nanoencapsulación

El método de nanoprecipitación también se llama desplazamiento de disolvente o deposición interfacial. La síntesis de nanocápsulas necesita fases compuestas por solventes y no solventes. La fase de disolvente consiste esencialmente en una solución en un disolvente o en una mezcla de disolventes (es decir, etanol, acetona, hexano, metileno cloruro o dioxano) de una sustancia formadora de película tal como un polímero (polímero sintético, semisintético o natural), la sustancia activa, aceite, tensioactivo lipofílico y sustancia activa disolvente o disolvente de aceite si estos son necesarios.

Por otra parte, la fase no solvente que consiste en un no disolvente o una mezcla de no disolventes para la sustancia formadora de película, complementado con uno o más tensioactivos naturales o sintéticos.

b) Emulsión-difusión

El método de difusión de la emulsión permite tanto nanoencapsulación de sustancia activa lipófila como de la sustancia hidrofílica. Los procedimientos experimentales realizados para lograr esto requiere tres fases: orgánica, acuosa y dilución. Cuando el objetivo es la nanoencapsulación de una sustancia activa lipófila, la fase orgánica contiene el polímero, el principio activo, aceite y un disolvente orgánico parcialmente miscible con agua, que debe ser agua saturada.

Para la preparación de nanocápsulas utilizando el método de emulsión-difusión, la fase orgánica se emulsiona bajo agitación vigorosa en la fase acuosa. La posterior adición de agua al sistema provoca la difusión del solvente en la fase externa, lo que resulta en la formación de nanocápsulas.

c) Emulsificación doble

En este método la fase dispersa es en sí misma una emulsión y el glóbulo disperso interno o gota se separa de la fase líquida externa por una capa de otra fase. Las emulsiones dobles generalmente se preparan en procesos de emulsificación de dos pasos utilizando dos surfactantes: un hidrofóbico, diseñado para estabilizar la interfaz de la emulsión interna agua/aceite y uno hidrofílico, para estabilizar la interfaz externa de los glóbulos del aceite para emulsiones agua/aceite/agua.

En este método, en la emulsión primaria agua/aceite, el aceite es sustituido por una fase orgánica que contenga un solvente que sea total o parcialmente miscible en agua, la película polimérica y un surfactante agua/aceite, después se agrega al sistema, agua que contenga un agente estabilizante para obtener agua en emulsión orgánica. Sin embargo, en esta etapa, el endurecimiento de las partículas se obtiene a través de la difusión del disolvente y la precipitación del polímero (Mora-Huertas et al.,2010).

d) Emulsión-coacervación

El procedimiento involucra la emulsificación aceite/agua de una fase orgánica (aceite, sustancia activa y disolvente de sustancia activa si es necesario) con una fase acuosa (agua, polímero, agente estabilizante) por agitación mecánica o ultrasonido, después la coacervación se lleva a cabo mediante el uso de electrolitos como lo realizado por Lertsutthiwong et al. (2008a, b) con alginato de sodio-calcio sistema de cloruro, mediante la adición de un agua no solvente miscible o un agente de deshidratación como lo hicieron Krause y Rohdewald (1985) con un sistema de gelatina-isopropanol-sulfato de sodio o modificación de temperatura. Finalmente, el proceso de coacervación se complementa con pasos adicionales que hacen posible obtener una estructura de cubierta rígida de nanocápsulas.

Este método utiliza la emulsión como fase base y la formación de una fase de coacervada que causa la precipitación del polímero de la fase de emulsión continua para formar una película sobre la emulsión que forma la nanocápsula (Mora-Huertas et al.,2010).

e) Recubrimiento del polímero

Esto se puede lograr adsorbiendo el polímero sobre las nanocápsulas no revestidas preformadas cuando estas últimas se incuban en dispersión de polímero bajo condiciones de agitación y tiempo predeterminadas. Del mismo modo, el polímero formado en capas se puede agregar durante la final etapa de los métodos convencionales para la preparación de nanocápsulas como la nanoprecipitación y la doble emulsificación.

En este método los polímeros se agregan en la fase continua y su precipitación en las gotitas de nanoemulsión se activa por evaporación del solvente, en oposición al método de coacervación de la emulsión.

f) Capa por capa

Este mecanismo de formación de nanocápsulas se basa en la irreversibilidad atracción electrostática que conduce a la adsorción de polielectrolitos en sobresaturando las concentraciones de polielectrólito a granel. Este método requiere una base coloidal sobre la cual se adsorbió una capa de polímero por incubación en la solución de polímero, posteriormente lavado, o disminuyendo la solubilidad del polímero mediante adición gota a gota de solvente inmiscible.

Este procedimiento se repite con un segundo polímero y múltiples capas de polímero se depositan secuencialmente, una tras otra y las nanocápsulas se cargan posteriormente con la sustancia de interés.

1.5.2 Nanoencapsulación de aceites esenciales

La encapsulación de aceites esenciales se constituye en una tecnología interesante utilizada en la industria de alimentos, al prevenir su volatilización y extender la vida útil de estos componentes biológicos. Muchos agentes activos presentes en aceites esenciales son compuestos inestables, y pueden sufrir oxidación o volatilización. La estabilidad de los aceites esenciales puede aumentarse aplicando la técnica de encapsulación.

El proceso de encapsulación consiste en la formación de una estructura multicomponente en forma de micropartículas compuestas, en general, de dos sustancias: el material del núcleo y el encapsulante (Barros-Fernandes et al., 2014) como ya se mencionó anteriormente.

1.6 Aceite esencial de romero

El romero (*R. officinalis* L.) es una planta mediterránea cuyo término se deriva del griego “(*rhops* y *myrinos*)” que significa “arbusto marino” por su crecimiento cercano a las costas. Diferentes trabajos de investigación afirman que dependiendo del lugar geográfico donde crezcan las plantas bajo condiciones de tipo de suelo, clima y altura sobre el nivel del mar generan diferentes cambios en cantidad y tipos de moléculas activas presentes (Avila-Sosa et al., 2011).

Las propiedades antioxidantes del romero han contribuido a la presencia de compuestos diterpénicos fenólicos, como ácido carnósico, carnosol y rosmanol, rosmariquinona y rosmaridifenol, que rompen las reacciones de la cadena de radicales libres por la donación de átomos de hidrógeno y los iones metálicos quelantes (Erkan et al., 2008).

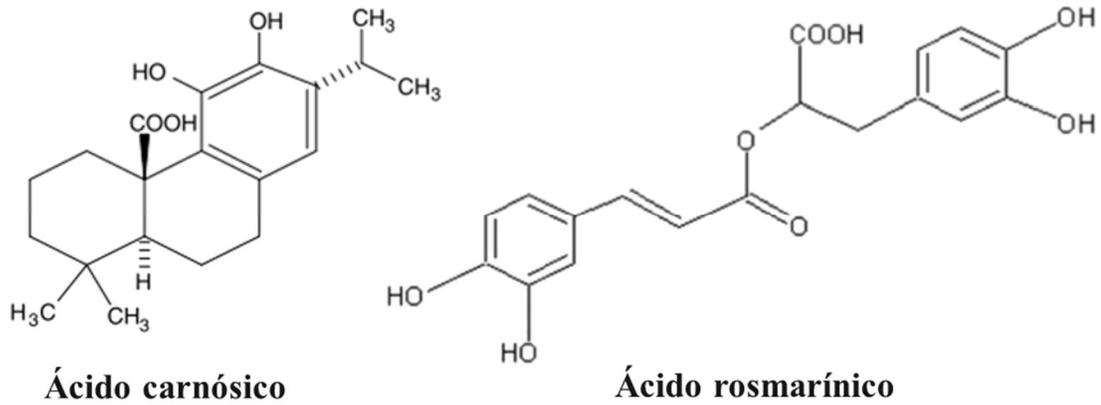


Figura 3. Estructura química de ácido carnósico y ácido rosmarínico (Erkan et al., 2008).

Los tocoferoles exhiben actividad antioxidante al donar hidrógeno fenólico a radicales libres de lípidos, lo que retarda los procesos de peroxidación lipídica autocatalítica. Los tocoferoles son termoestables, especialmente cuando se agrega una mezcla de los cuatro tocoferoles (Barrera-Arellano et al., 2002).

Una característica del extracto de romero es que su actividad antioxidante se incrementa conforme el pH disminuye, posiblemente debido a que tanto el ácido carnósico como el carnosol son más estables y su efecto protector puede durar más tiempo durante la oxidación (Chang et al., 1977).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1. Objetivo General y Particulares

Evaluar el efecto del ultrasonido en la infiltración de goma arábiga con y sin nanocápsulas de aceite esencial de romero en papa mínimamente procesada a través de la determinación de cambios fisicoquímicos, texturales y enzimáticos como parámetros de evaluación de calidad durante el almacenamiento a 4°C.

Objetivo Particular 1

Relacionar los cambios en propiedades fisicoquímicas de papa mínimamente procesada con la infiltración de goma arábiga y/o nanocápsulas de aceite esencial de romero como consecuencia de la infiltración ultrasónica en función de la amplitud y tiempo de acción, estableciendo su efectividad para conservar el producto almacenado a 4 °C por 7 días.

Objetivo Particular 2

Analizar el efecto sobre la firmeza en consecuencia de la infiltración ultrasónica de goma arábiga y/o nanocápsulas de aceite esencial de romero con relación a la amplitud y al tiempo de acción, determinando su efectividad para la conservación de papa mínimamente procesada almacenada a 4 °C por una semana.

Objetivo Particular 3

Establecer las condiciones de proceso de la infiltración ultrasónica de nanocápsulas de aceite esencial de romero que favorezcan mayormente el efecto de anti-oscuramiento de papa mínimamente procesada durante su almacenamiento a 4°C por 7 días, a través de pruebas colorimétricas.

Objetivo Particular 4

Determinar mediante cinéticas de infiltración la absorción de nanocápsulas de aceite esencial de romero en consecuencia al uso de ultrasonido como tratamiento para la conservación de papa mínimamente procesada almacenada en refrigeración.

2.2. Acondicionamiento del generador de ultrasonido

Con la finalidad de realizar la infiltración del medio en la papa mínimamente procesada, se empleó un homogeneizador ultrasónico portátil marca *Hielscher*, modelo UP200Ht de 200 W de potencia y 26 kHz de frecuencia máxima. Para la realización de los tratamientos se empleó un el sonotrodo S26d40 con amplitud máxima de 9 µm, y con base en investigaciones realizadas por Oladejo et al. (2017), se seleccionaron pulsos eléctricos de 5, 10 y 15 s y con tiempos de reposo de 2 s entre pulsos.

La amplitud máxima utilizada fue del 70 % respecto a la capacidad del equipo, considerando amplitudes de 40, 50, 60 y 70 %. Con base en las pruebas realizados para el diseño experimental se seleccionaron los niveles de variación de amplitud de 50% y 70%; tiempo de acción constante de 15 s, variando el número de ciclos (5 y 15 ciclos).

La Figura 4, muestra las características generales del procesador ultrasónico empleado, así como el tipo de sonotrodo seleccionado.



Figura 4. Homogenizador Ultrasónico *Hielscher UP200Ht* con sonotrodo *S25d40*.

2.3. Selección de polisacárido soporte

Previo al desarrollo experimental se realizaron pruebas de infiltración utilizando carboximetilcelulosa (0.5%), pectina de bajo metoxilo (1%), maltodextrina (2.5%) y goma arábica (2.5%), a diferentes tiempos de acción y amplitudes mencionados previamente en la caracterización del generador de ultrasonido y con base en la observación de los cambios de coloración se seleccionó la goma arábica como polisacárido soporte al ser el tratamiento con menor oscurecimiento en la papa.



Figura 5. Muestras de papa mínimamente procesada por ultrasonido para la infiltración de diferentes polisacáridos.

2.4. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

Se realizó el acondicionamiento de una cámara de refrigeración comercial, empleada para el almacenamiento de los lotes de experimentación, ubicada en el laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4.

Se varió la posición del termostato que se encuentra al interior hasta lograr el mantenimiento de temperatura de 4 ± 1 °C y humedad relativa superior al 90%, ideal para la conservación de papa en almacenamiento refrigerado (Banse, 1980). Los datos de temperatura y humedad relativa fueron registrados durante 20 horas, por 3 termohigrómetros digitales, marca *Lasca Electronics*, modelo USB-2 Logger, que fueron colocados por separado en cada rejilla del espacio refrigerado como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración.

2.5. Control de la materia prima

La Figura 7, muestra las características generales de la papa adquirida cada inicio de semana de experimentación en lotes de 3 kg de papa variedad alfa, en el centro de abastos local de Cuautitlán, Estado de México. La materia prima se seleccionó con base en su tamaño, textura y apariencia libre de daños mecánicos, fisiológicos, microbianos, requisitos mínimos que especifica la PROY-NMX-FF-022-2001.



Figura 7. Papa variedad alfa.

2.6. Diseño experimental

La tabla 1 muestra los factores experimentales y las variables dependientes consideradas para cumplir con los objetivos planteados, cabe destacar que para monitorear el efecto de la infiltración ultrasónica las muestras de papa se evaluaron a los días 1, 3 y 7 después del almacenamiento refrigerado a 4 °C, cada bolsa contenía 50 g de muestra, todos los experimentos se realizaron por triplicado.

Tabla 1. Variables experimentales

Factores de variación	Niveles de variación	Rép.	Variable dependiente	Técnica o instrumento
Número de ciclos de ultrasonido	5 ciclos	3	Concentración de O ₂ y CO ₂	Analizador de gases <i>Quantek Instruments 902D</i>
	15 ciclos		Color	Colorimetría con agrocolorímetro <i>Apollinaire</i>
Amplitud de ondas de ultrasonido	50%		Firmeza	Texturómetro <i>Brookfield CT3</i>
			pH	Potenciómetro <i>Hanna PH213</i>
	70%		Actividad peroxidasa	Absorbancia con espectrofotómetro <i>Genesys 10S UV-VIS</i>
Medio transmisor de ondas sonoras	Goma arábica (2.5%)		Fenoles totales	Folin-Ciocalteu con espectrofotómetro <i>Genesys 10S UV-VIS</i>
	Nanocápsulas de aceite esencial de romero (20%) en soporte de goma arábica al 2.5%		Aceite de romero infiltrado	Absorbancia con espectrofotómetro <i>Genesys 10S UV-VIS</i>

2.7. Preparación de las muestras

La papa de variedad alpha fue lavada, pelada y cortada en tamaño de aproximadamente 0.8 cm de largo, 0.8 cm de largo y 1 cm de profundidad. Se pesaron 50 g por cada muestra y se inmergieron en 150 mL de la solución utilizada como medio transmisor según el lote del diseño experimental, es decir, para tratamientos sin nanocápsulas se utilizó dispersión de goma arábica al 2.5%, y para tratamientos con nanocápsulas de aceite esencial de romero se emplearon nanocápsulas proporcionadas por el laboratorio L-16, con un tamaño de partícula promedio de 500 nm y bajos índices de polidispersión, dispersadas en goma arábica

(2.5%) a la proporción de 20 mL de nanocápsulas de aceite esencial de romero por cada 100 mL de goma arábica.

Una vez sumergida la papa en goma arábica se colocó el homogeneizador ultrasónico, sumergiendo el sonotrodo a 5 mm de la superficie y se accionó de acuerdo con número de ciclos y amplitud seleccionados.

Terminado el tratamiento de ultrasonido, la muestra fue escurrida y pesada, para posteriormente ser envasada en polietileno de baja densidad considerando un espacio libre de cabeza del 30 %, realizado esto, las muestras se almacenaron en la rejilla intermedia de la cámara de refrigeración a 4°C (+/-1°C) y 90% de humedad relativa se distribuyeron sobre la misma hasta su respectivo muestreo (1, 3 y 7 días de almacenamiento).

Los tratamientos control fueron inmersos en las soluciones según el tratamiento, sin aplicación de ultrasonido durante 90 min, una vez realizados los tratamientos las muestras fueron almacenadas en la rejilla intermedia del refrigerador caracterizado.



Figura 8. Muestras almacenadas en el espacio refrigerado.

2.8. Determinación de aceite esencial de romero infiltrado

Para los tratamientos con nanocápsulas de aceite de romero con soporte de goma arábica (a una concentración del 20%) se determinó la cantidad de aceite infiltrado mediante la homogeneización de 3 g de papa pretratada con 10 mL de cloroformo durante 1 h.

Posteriormente las muestras fueron centrifugadas por 20 min a 6000 rpm, pasados 5 min se recuperó con una jeringa el líquido que se encontraba debajo de los sólidos y se colocó en celdas de vidrio para espectrofotómetro. La absorbancia de las muestras fue cuantificada en contraste a una curva patrón de aceite de romero-cloroformo en un espectrofotómetro marca *Genesys 10S UV-VIS* representado por la Figura 9.



Figura 9. Espectrofotómetro *Genesys 10 S UV-VIS*.

2.9. Medición de O₂ y CO₂ en el espacio libre de cabeza

La concentración de gases en el espacio libre de cabeza de los envases que contenía la papa mínimamente procesada se realizó con un medidor de gases marca *Quantek Instruments* modelo *902D* (Figura 10), colocando un septo sobre la bolsa para evitar fugas, y perforando para realizar la medición de concentración de O₂ y CO₂.



Figura 10. Medidor de gases *Quantek Instruments*.

2.10. Medición de color

Los cambios de color fueron medidos con un agrocólorímetro marca APOLLINAIRE, previamente calibrado con blanco en valores de 255 en R, B y G, los resultados obtenidos fueron transformados a coordenadas L , a^* , b^* , con la finalidad de obtener correlaciones para la papa mínimamente procesada. Los valores obtenidos fueron utilizados para calcular además los parámetros de cromaticidad y ángulo de tono ($^{\circ}$ Hue).



Figura 11. Agrocólorímetro marca APOLLINAIRE.

2.11. Prueba de punción

Con el fin de medir los cambios en la dureza de las muestras, se realizaron pruebas de punción con un texturómetro *Brookfield* marca *CT3* con celda de carga de 25 kgf y sonda TA/42 con elemento base TA-BT KIT, la prueba se realizó con un valor meta de penetración de 5 mm con carga de activación de 0.1 N, la velocidad de prueba fue de 1 mm/s. Los resultados obtenidos fueron de dureza expresados en Newton.



Figura 12. Texturómetro *Brookfield CT3*

2.12. Determinación de pH

La determinación de pH se llevó a cabo con un potenciómetro marca HANNA modelo PH213, previamente calibrado con disoluciones buffer de pH 7 y 4, se homogeneizaron 10 g de muestra con agua destilada para la medición de acuerdo con la técnica (AOAC,1975).



Figura 13. Potenciómetro *Hanna PH213*.

2.13. Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se llevó a cabo mediante la homogeneización de muestra con metanol a una relación (1:2) por 10 min, posteriormente la muestra fue centrifugada para obtener el extracto y reposada en la oscuridad durante 2 h. Se prepararon tubos de prueba con 3 mL de agua, 250 μ L de reactivo Folin al 1% y 100 μ L de extracto, fueron reposados durante 8 min y posteriormente se agregaron 750 μ L de carbonato de sodio a los tubos, pasados 30 min la concentración de equivalentes de ácido gálico de la muestra fue cuantificada en un espectrofotómetro marca *Genesys 10S UV-VIS*, en contraste con la curva patrón de ácido gálico.

2.14. Determinación de actividad peroxidasa

La determinación de actividad peroxidasa se obtuvo a través de la oxidación de guayacol con peróxido de hidrógeno y disolución buffer de fosfato de pH 7, previo a la medición la muestra se homogeneizó con una disolución polivinil-buffer al 1%, a una relación 1:1, durante 10 minutos, posteriormente se centrifugó a 6,000 rpm durante 20 minutos para obtener el extracto.

Se prepararon las celdas de espectrofotometría de la siguiente manera: como celda blanco 2 mL de la disolución guayacol-peróxido-buffer y como celda muestra 2.9 mL de esta disolución y 100 μ L de extracto para llevar a cabo la reacción de oxidación sustrato-enzima. La medición se llevó a cabo con un espectrofotómetro marca *Genesys 10S UV-VIS*, en un tiempo de prueba de 5 min, intervalo de datos de 10 s y longitud de onda de 470nm, el aparato se muestra en la Figura 9.

CAPÍTULO III. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

Los valores registrados en los termohigrómetros durante 19 h fueron analizados determinando la variabilidad en los resultados, el producto fue almacenado en la segunda rejilla del refrigerador, cuya medición fue realizada por el termohigrómetro 2, observándose en la figura 14 una temperatura máxima de 6.5°C y mínima de 2 °C, así mismo representado en la figura 15 se registró una humedad relativa de hasta 95%, valores a los que se reduce el riesgo de daños por frío y deshidratación, de acuerdo con técnicas de almacenamiento de papa (Banse, 1980).

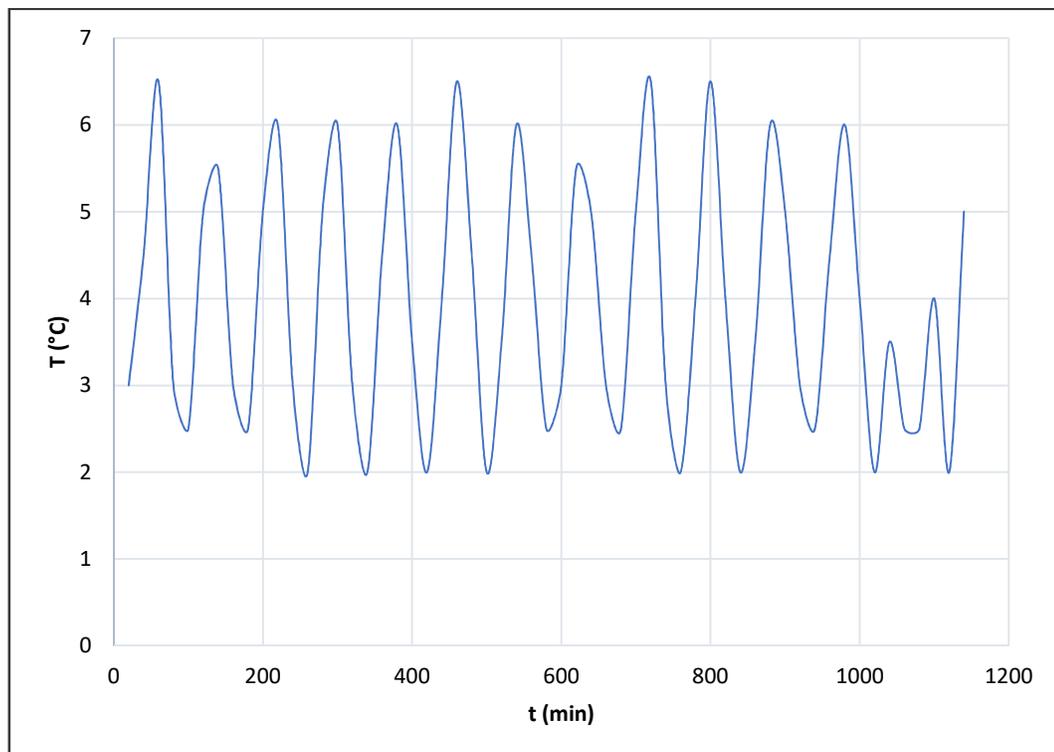


Figura 14. Variación de la temperatura del espacio refrigerado.

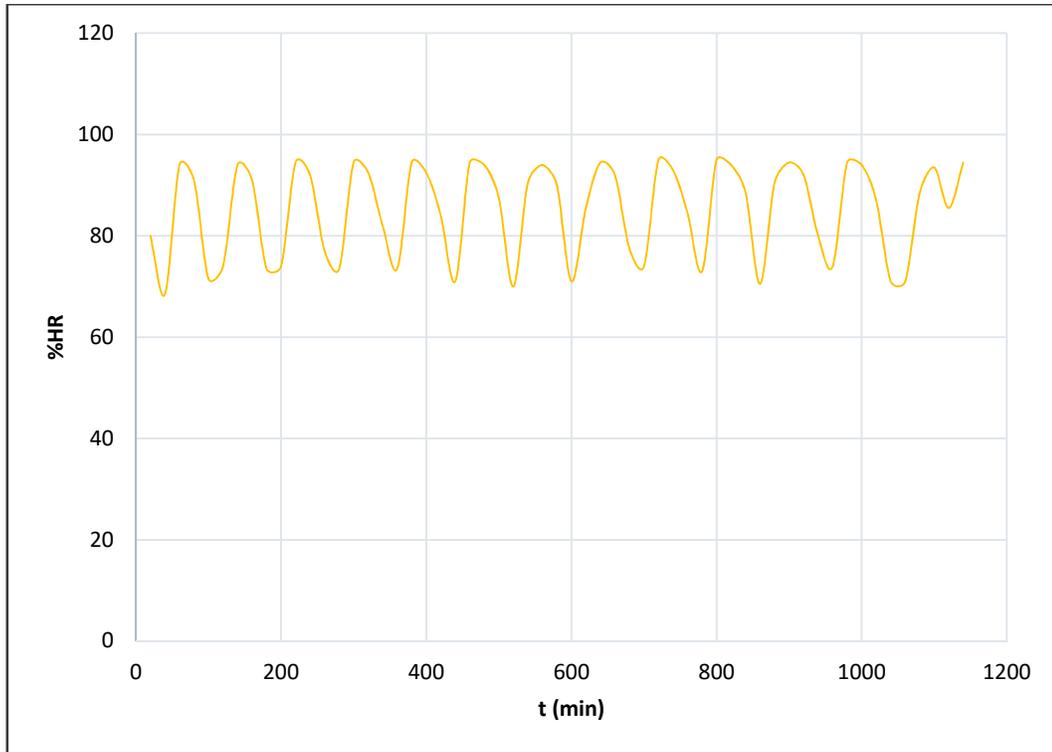


Figura 15. Variación de la humedad relativa del espacio refrigerado.

3.2 Absorción de aceite esencial de romero por acción ultrasónica

Se cuantificó el aceite esencial de romero infiltrado en los tratamientos cuyo medio transmisor de ondas ultrasónicas fueron nanocápsulas de aceite esencial de romero en soporte de goma arábica al 20%. Los resultados fueron comparados con un intervalo de confianza para la media del 95% como se muestra en la Figura 16, la prueba de Tukey para diferenciación de medias demuestra que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con 15 ciclos de acción ultrasónica y el tratamiento control en el que las muestras fueron inmersas en la dispersión de nanocápsulas-goma arábica durante 90 min.

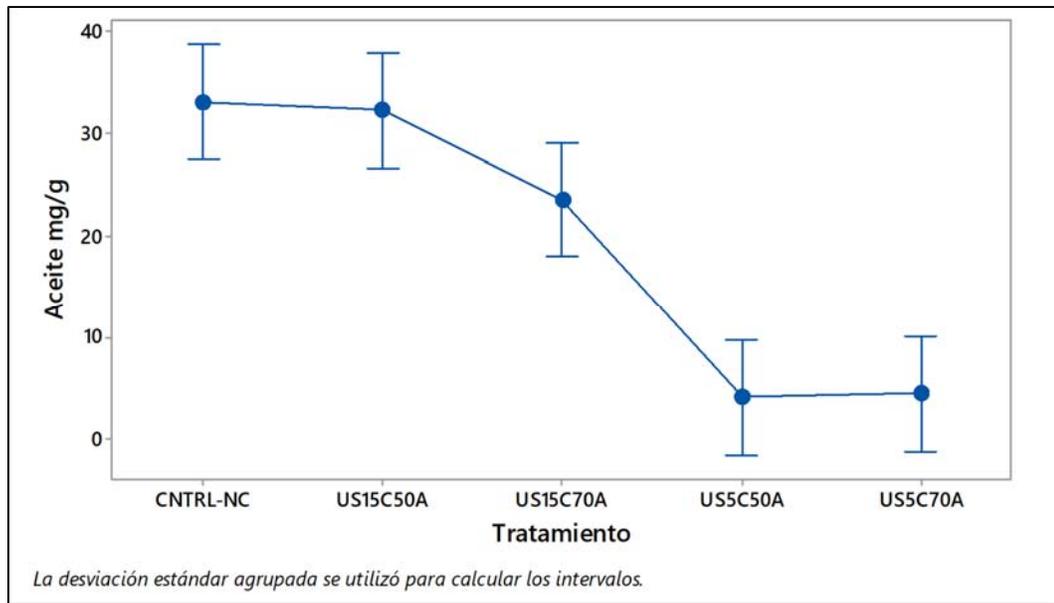


Figura 16. Absorción de mg de aceite esencial de romero por g de papa respecto al tratamiento. CTRL-NC = control nanocápsulas, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp.

Estos resultados demuestran una ventaja del uso de ultrasonido para la infiltración de nanocápsulas de aceite esencial de romero con respecto al tratamiento tradicional de inmersión, existe un ahorro de tiempo de 85 min 47 s, logrando resultados de infiltración de aceite muy similares y con menor daño al producto por efecto de exposición.

Esta efectividad del tratamiento con ultrasonido para la infiltración del aceite de romero nanoencapsulado es causada por la producción de cavitaciones que funcionan como esponjas sobre la superficie sólida del alimento. En estudios realizados en 2008 por Fernandes et al., se demostró la inducción de canales en la estructura de melón por efecto de la acción ultrasónica, que a su vez favorecieron la difusividad de agua para el tratamiento de deshidratación asistida por ultrasonido, es decir se ve acelerada la difusión de aceite de romero hacia el interior de la papa.

Por otra parte, realizado un análisis de varianza con $\alpha=0.05$, se muestra con un valor de $p \leq 0.168$ que no existieron diferencias estadísticamente significativas

respecto a los niveles de variación en la amplitud de las ondas ultrasónicas y la cantidad de aceite absorbido, en contraste del efecto del tiempo de acción ultrasónica que demuestra que el tratamiento de 15 ciclos, es decir, mayor tiempo de infiltración presenta la mayor cantidad de aceite esencial de romero infiltrado, a comparación de los tratamientos de 5 ciclos, este comportamiento se observa en la Figura 17.

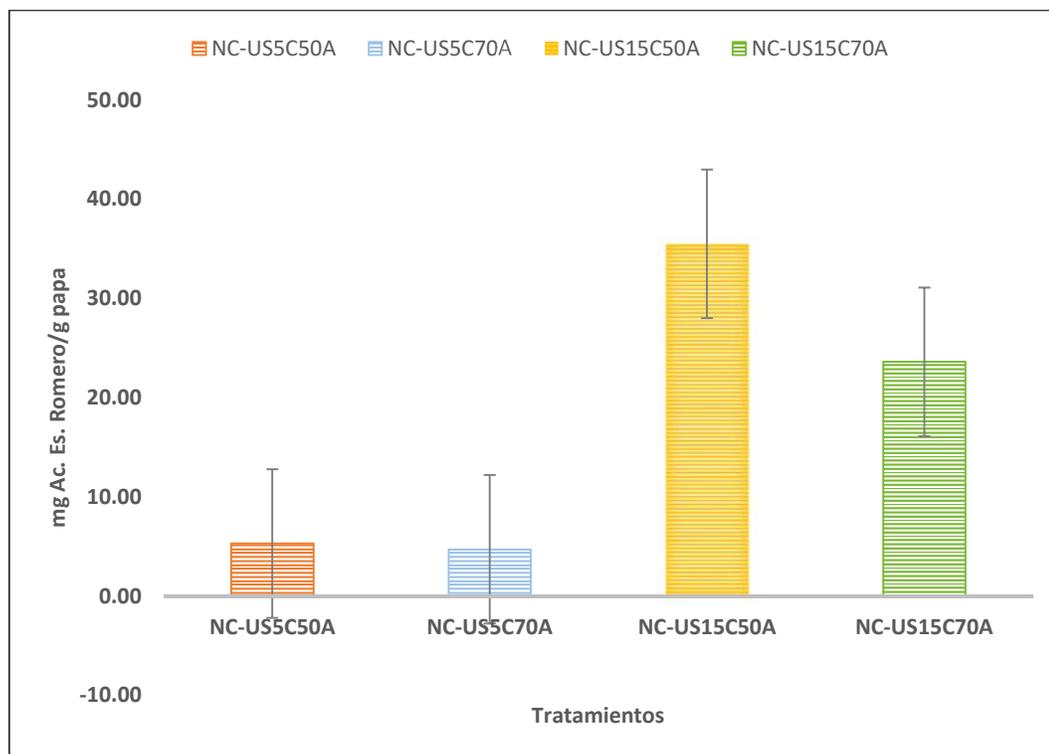


Figura 17. Aceite de romero infiltrado respecto a número de ciclos y amplitud de onda. NC-US5C50A= ultrasonido 5 ciclos 50% amp, NC-US5C70A= ultrasonido 5 ciclos 70% amp, NC- US15C50A= ultrasonido 15 ciclos 50 amp, US15C70A= ultrasonido 15 ciclos 70 amp.

3.3 Cambios en la concentración de O₂ y CO₂ en el espacio libre de cabeza

a) Cambios en la concentración de oxígeno

La Figura 18, muestra las variaciones en la concentración de O₂ en el espacio libre de cabeza. Los procesos de respiración de la papa requieren de O₂, por lo que

existe una disminución de este gas en el espacio libre de cabeza del envase conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, esta disponibilidad de oxígeno es de gran importancia para llevar a cabo las reacciones metabólicas, una mayor actividad respiratoria conlleva una vida útil más baja, y mayor pérdida de calidad (Nourian et al., 2003).

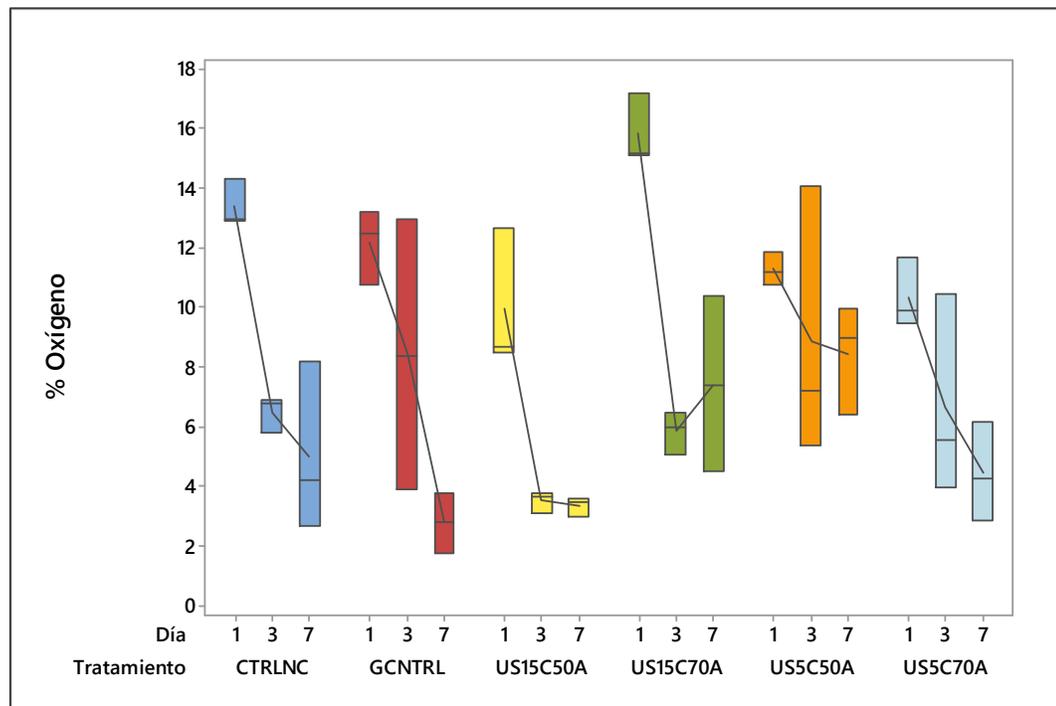


Figura 18. Concentración de oxígeno en el espacio libre de cabeza durante el almacenamiento. CTRL-NC = control nanocápsulas, GCNTRL = control goma arábica, US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp.

El tratamiento que presenta la mayor conservación de oxígeno en el espacio libre de cabeza es el de 5 ciclos de acción ultrasónica y 50% de amplitud de onda.

En estudios realizados por Ierna et al. (2017), también se observó una disminución de oxígeno afectada por la permeabilidad del envase debido a la intensa actividad respiratoria de los tubérculos, se observó junto con una disminución del nivel de O_2 , que, sin embargo, aún indica el metabolismo aeróbico, importante para la calidad de la hortaliza recién cortada (Oliveira et al., 2015).

b) Cambios en la concentración de dióxido de carbono

En la tabla 2, se muestran las variaciones en la concentración de CO₂, estas no mostraron diferencia estadísticamente significativa durante los 7 días de monitoreo en almacenamiento refrigerado, que hace más lento el proceso de respiración. De acuerdo con estos resultados, en general el porcentaje de concentración de CO₂ en el espacio libre de cabeza de los envases, aumenta conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, la falta de acumulación de CO₂ se debe al intercambio de gases, respiración y tasas de reacciones oxidativas causadas durante almacenamiento y por material de envasado que funciona como una barrera semipermeable (Rojas-Graü et al., 2008) e incluso por defectos en el sellado de las bolsas.

Tabla 2. Cambios en la concentración de dióxido de carbono durante el almacenamiento

TRATAMIENTO	DIA 1		DIA 3		DIA 7	
	$\bar{\chi}$	σ	$\bar{\chi}$	σ	$\bar{\chi}$	Σ
US5C50A	0.23	0.06	0.40	0.17	0.30	0.26
US5C70A	0.33	0.06	0.50	0.10	0.53	0.15
US15C50A	0.10	0.17	0.63	0.06	0.57	0.00
US15C70A	0.23	0.06	0.53	0.06	0.70	0.17
CTRL-NC	0.23	0.06	0.40	0.10	0.60	0.17
CTRL-GA	0.37	0.15	0.57	0.25	0.67	0.06

Los valores obtenidos son inferiores al 1% por lo que la concentración de este gas como consecuencia de la respiración no presenta cambios significativos para fines de análisis.

3.4 Cambios colorimétricos durante el almacenamiento

Los cambios de color de la papa durante el almacenamiento fueron evaluados de acuerdo con cuatro parámetros de referencia: la luminosidad, la cromaticidad, ángulo tono, y el índice de oscurecimiento.

La apreciación de color es afectada por muchos factores, tales como la iluminación, la persona que observa, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada, sin embargo la colorimetría y sus parámetros son variables cuantificables en la determinación de la calidad de los alimentos en forma rápida, precisa y objetiva (Mathias-Rettig, et al., 2014).

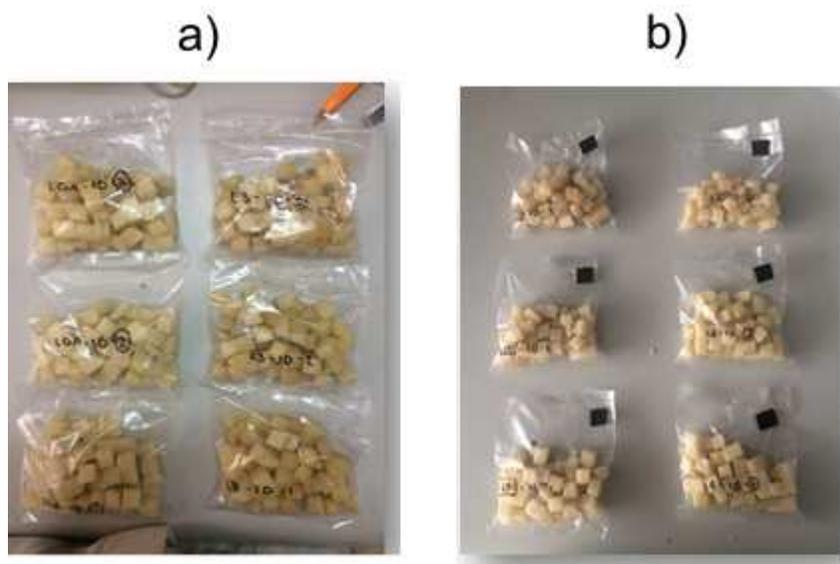


Figura 19. Tratamiento de infiltración de papa a) sin nanocápsulas y b) con nanocápsulas.

3.4.1. Luminosidad

La luminosidad está dada por el contenido total de energía, da lugar a los colores claros y oscuros y es considerada el grado entre la oscuridad y el brillo máximo (Mathias-Rettig et al., 2014), de acuerdo con Zambrano-Zaragoza et al. (2014), por lo general, los cambios en L^* están asociados con las modificaciones de la superficie tisular causadas por la actividad de la enzima polifenol oxidasa que ocasiona el oscurecimiento del producto.

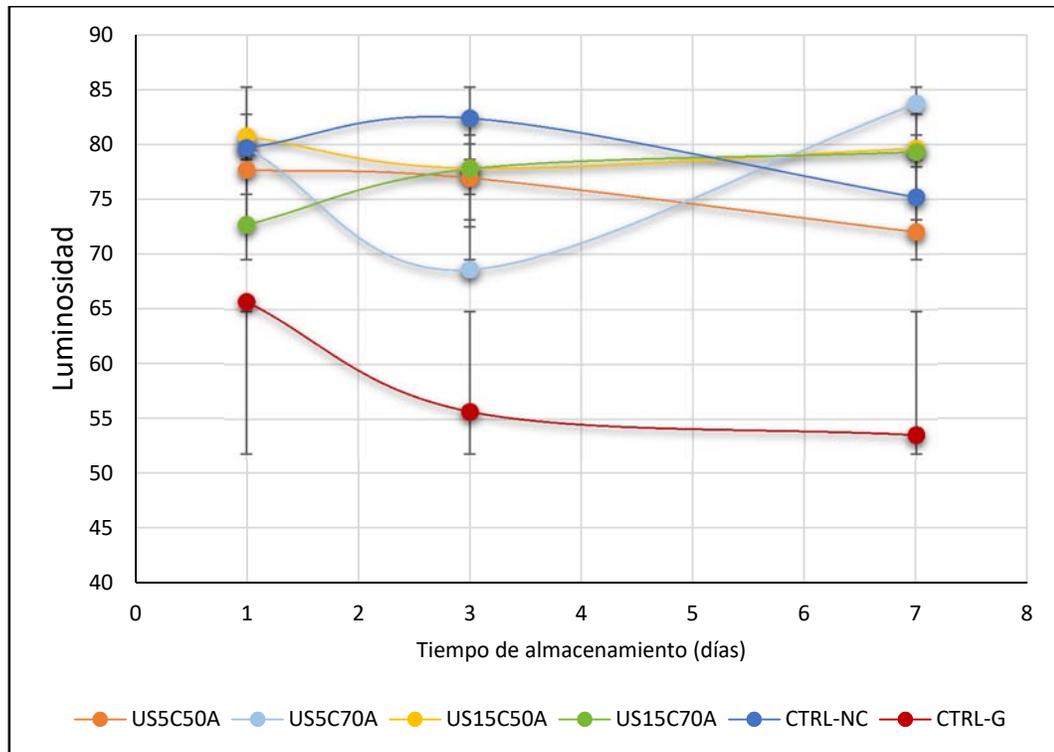


Figura 20. Cambios en la luminosidad durante el almacenamiento. US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, CTRL-NC = control nanocápsulas, CTRL-G = control goma arábica.

En la Figura 20 se observa que el tratamiento control sin nanocápsulas presentó la menor luminosidad, en comparación a los otros tratamientos, en contraste los tratamientos que mantuvieron valores de luminosidad similares durante el almacenamiento fueron los tratamientos de 50 % de amplitud de onda de 5 y 15 ciclos, de acuerdo al análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95% los valores de luminosidad no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a los días de almacenamiento ($p \geq 0.374$) pero si respecto al tratamiento, los tratamientos con uso de nanocápsulas preservaron en mayor magnitud el brillo de la papa.

Resultados similares fueron observados en la cuantificación de parámetros de color en trabajos realizados por Nourian et al. (2003) en los que como comportamiento general los valores de luminosidad de la papa van decreciendo respecto a los días

de almacenamiento y no influyen significativamente en el cambio de color del producto.

3.4.2. Cromaticidad

La cromaticidad se define como la saturación, intensidad, pureza, "*chroma*", representa la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos, también es identificado como el grado de color, es decir, incoloro, brillante o pálido (Mathias-Rettig et al., 2014). Los valores de cromaticidad dependen sólo de la longitud de onda dominante y de la saturación, son independientes del total de energía luminosa.

De acuerdo al análisis estadístico los datos presentados en la Figura 21 presentan diferencias significativas en relación a los días de almacenamiento en el que se aprecia que en los tratamientos de 15 ciclos con 50 y 70% de amplitud, así como el tratamiento de 5 ciclos y 50 % de amplitud, siendo este último el tratamiento con mayor luminosidad también, la cromaticidad al primer día de almacenamiento es la más baja, posteriormente existe un aumento de saturación de color (croma) en el tercer día de almacenamiento que disminuye en ligera medida en el último día.

Los resultados no presentaron diferencias significativas con relación a la cantidad de aceite esencial de romero infiltrado ($p \geq 0.440$).

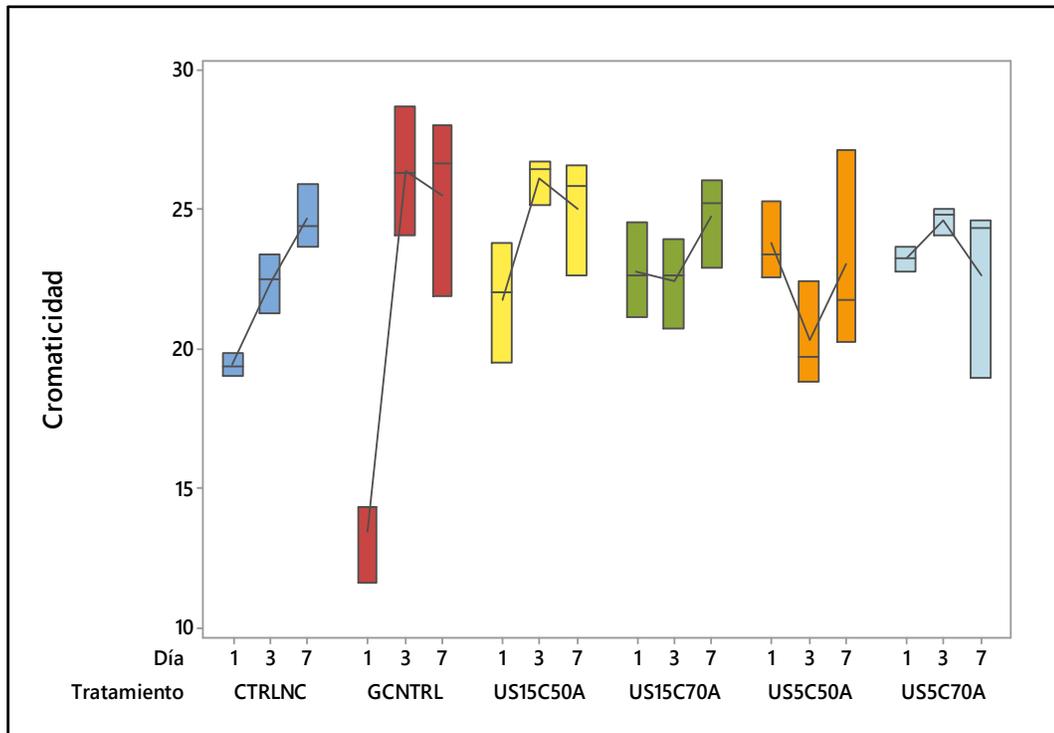


Figura 22. Cambios en la cromaticidad durante el almacenamiento. CTRLNC = control nanocápsulas, GCNTRL = control goma arábica, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp.

3.4.3. Ángulo de tono (°Hue)

El valor de Hue es el ángulo del tono, y se expresa en grados que van de 0° (inclusive) a 360° (excluido). Los valores calculados representan la tonalidad dentro de la esfera de la cromaticidad, que se pueden observar en la Figura 22.

Los resultados de cromaticidad y ángulo de tono se ven modificados por la concentración de sólidos solubles totales e incluso la presencia de azúcares totales y su papel dentro de las reacciones de deterioro (González et al., 2015).

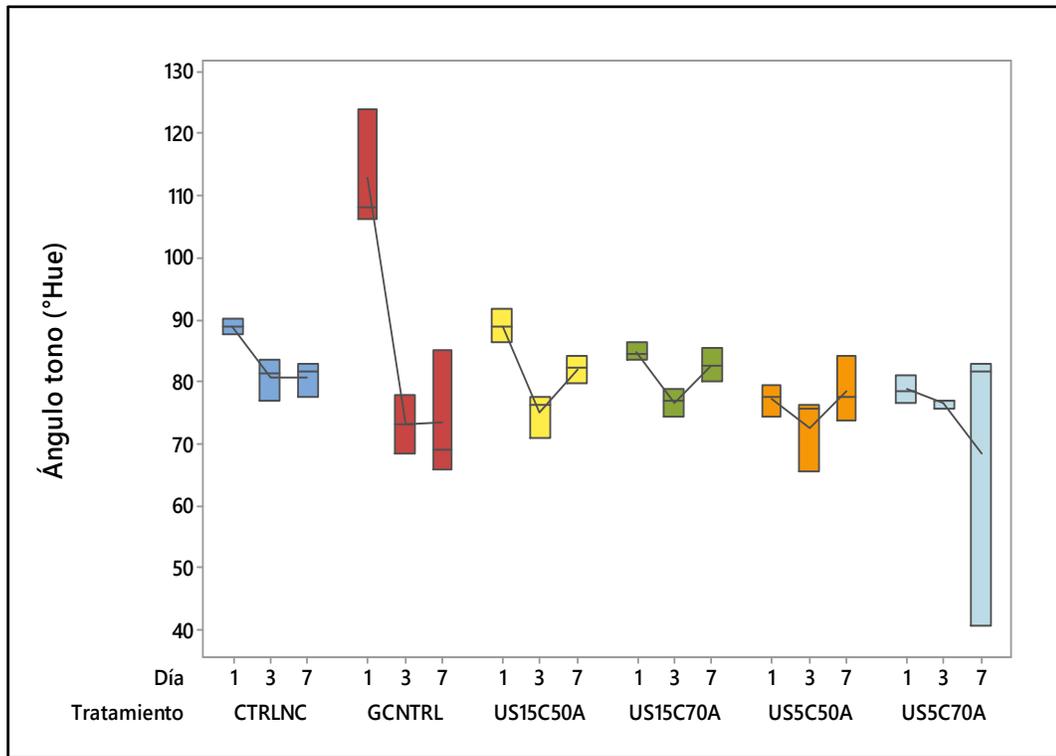


Figura 22. Cambios en el ángulo tono (°Hue) durante el almacenamiento. US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, CTRL-NC = control nanocápsulas, CTRL-G = control goma arábica.

Los resultados análisis estadístico mediante un ANOVA, demostraron que no existen diferencias significativas del tratamiento sobre los resultados, sin embargo, se observa que, con respecto a los días existe una ligera disminución del ángulo de tono al tercer día, permaneciendo constante a partir del séptimo día, todos los valores se encuentran en un rango de tonalidades amarillas-verdosas ubicándolos en la esfera de cromaticidad representada en la Figura 23.

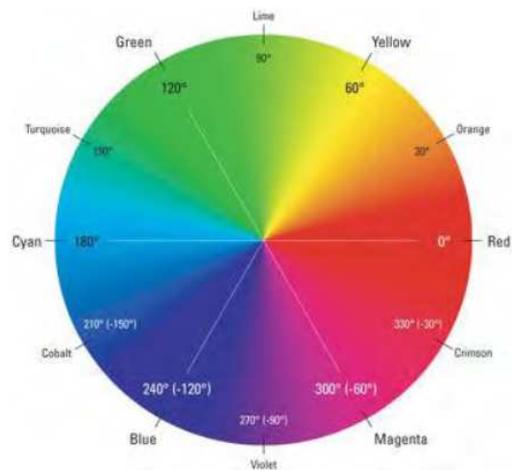


Figura 23. Esfera de cromaticidad.

Los resultados son similares a los obtenidos por Amaral et al. (2017), donde el valor de ángulo tono siendo inversamente proporcional a los valores de luminosidad, se ve modificado por los tratamientos que alteran la composición química del producto.

3.4.4. Índice de oscurecimiento

El oscurecimiento enzimático de frutas y verduras después de un mínimo procesamiento es una de las causas más importantes de pérdidas de calidad, que provocan el rechazo de los consumidores (Castaner et al., 1999). La susceptibilidad al oscurecimiento puede diferir de cultivar a cultivar, como se observa en manzanas, papas, nectarinas y melocotones. Esto se explica por las diferencias en fenoles, contenido de antioxidantes y actividades enzimáticas.

El oscurecimiento enzimático es la consecuencia de la reacción entre las enzimas oxidativas, como la polifenol oxidasa y / o las fenol peroxidases y los fenoles (Cabezas-Serrano et al., 2009).

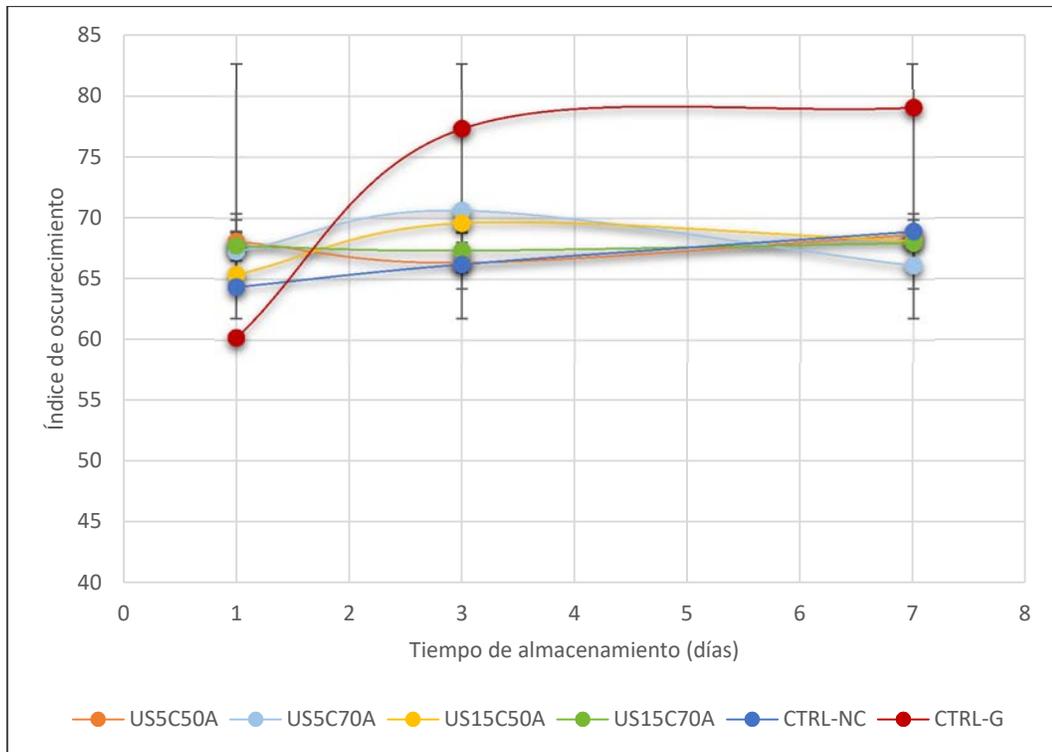


Figura 24. Cambios en el índice de oscurecimiento durante el almacenamiento. US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, CTRL-NC = control nanocápsulas, CTRL-G = control goma arábica.

En la Figura 24 se muestran los resultados obtenidos a través del muestreo, mediante un análisis de varianza con intervalos de confianza del 95%, se demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas respecto al tratamiento. Se observa que el tratamiento con mayor índice de oscurecimiento fue el tratamiento control sin nanocápsulas, mismo que presenta mayor valor en la cromaticidad, es decir la saturación de color.

lerna et al. (2017), demostraron que el uso de bioenvases para la conservación de papas mínimamente procesadas redujo los valores en el ángulo tono y en consecuencia el índice de oscurecimiento, sin embargo, los tratamientos poscosecha de inmersión en ácido ascórbico y ácido cítrico obtuvieron mejores resultados prolongando la vida útil en envases convencionales hasta por 9 días.

En este trabajo, respecto a los días de almacenamiento, se observa que en general, los tratamientos de 5 ciclos de 50% de amplitud y 15 ciclos de 70 % de amplitud y el tratamiento control con nanocápsulas a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento disminuye el índice de oscurecimiento.

Estos lotes presentan las mayores concentraciones de aceite esencial de romero absorbido, por lo que permitió a través de su influencia en la actividad enzimática y concentración de fenoles, contribuyó a que el índice de oscurecimiento no aumentara, sin embargo el comportamiento es variado, esto se debe a la combinación de parámetros medidos y no medidos como lo son cambios en la composición química, actividades enzimáticas peroxidasa y polifenoloxidasa, y condiciones de almacenamiento (Aquino-Bolaños et al., 2004).

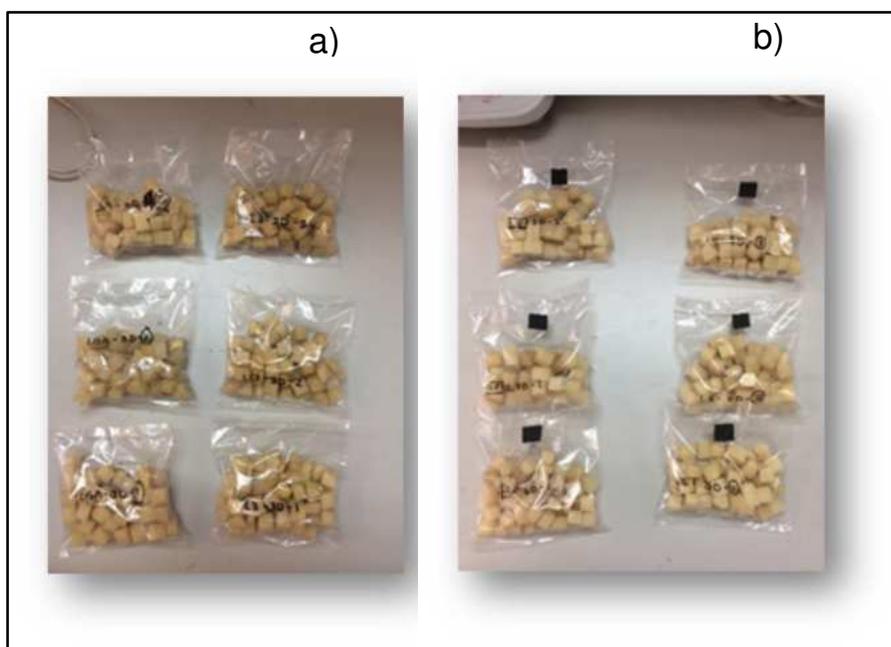


Figura 25. Papa tratada después de 3 días de almacenamiento a 4 °C, a) sin nanocápsulas, b) con nanocápsulas.

3.5 Cambios en el pH durante el almacenamiento

La papa, como la mayoría de los tubérculos presenta un pH que se encuentra entre los valores de 5.7 a 6.1. De acuerdo con los resultados obtenidos durante el muestreo de la experimentación estos valores no presentan diferencias significativas con respecto a datos bibliográfico, ni a los tratamientos y días de almacenamiento, estos resultados se observan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Cambios en el pH respecto al tratamiento y tiempo de almacenamiento.

TRATAMIENTO	DIA 1		DIA 3		DIA 7	
	\bar{x}	Σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
US5C50A	5.98	0.026	6.00	0.006	6.02	0.053
US5C70A	6.05	0.038	5.96	0.042	6.03	0.046
US15C50A	5.93	0.055	5.86	0.026	5.97	0.015
US15C70A	5.99	0.000	5.93	0.046	5.88	0.101
CTRL-NC	5.94	0.006	5.93	0.057	5.95	0.058
CTRL-GA	5.75	0.036	5.91	0.026	5.85	0.075

El pH es una variable importante en el estudio de la efectividad antioxidante del aceite esencial de romero, de acuerdo con Chang, et al. (1977), una característica del extracto de romero es que su actividad antioxidante se incrementa conforme el pH disminuye, debido a que tanto el ácido carnósico como el carnosol son más estables y su efecto protector puede durar más tiempo durante la oxidación, de manera que cambios significativos en el pH, de alrededor del 50% respecto al valor inicial, pueden limitar actividades de la enzima polifenol oxidasa (Meneses et al., 2011).

Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo no presentan diferencias significativas y son similares a estudios realizados en 2017 por Amaral et al. en los que se concluye que la mínima variación de pH no representa influencia significativa sobre los atributos de calidad y vida útil de papa mínimamente procesada.

3.6 Cambios en la firmeza durante el almacenamiento

La firmeza, es un parámetro de calidad importante en relación a la conservación de la papa que no ha sufrido daños por frío, por otro lado se considera que tanto el almidón como la pectina de la pared celular son los polímeros que determinan las propiedades estructurales en la papa (Hasbún et al., 2008).

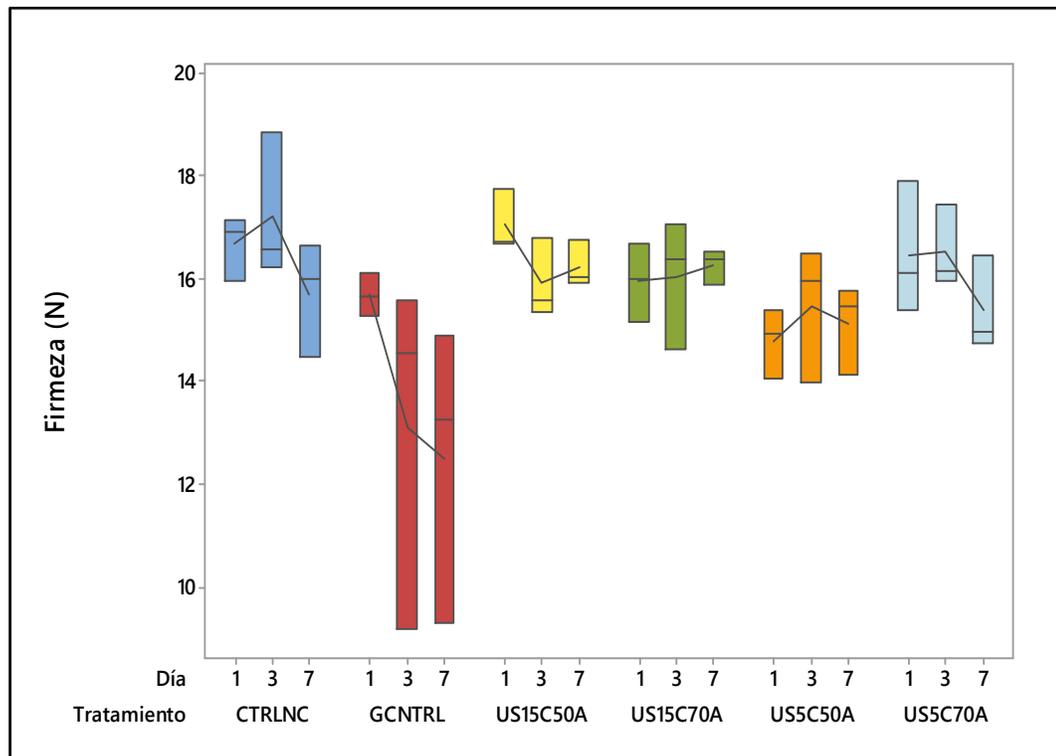


Figura 26. Cambio en la firmeza durante el almacenamiento. CTRLNC = control con nanocápsulas, GCNTRL = control con goma arábica, US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante el muestreo de la papa en almacenamiento y mediante un ANOVA, se demuestra que los resultados no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto al tiempo de almacenamiento ($P=0.148$), sin embargo, si existe diferencia entre los tratamientos con nanocápsulas y el tratamiento control únicamente con goma arábica.

Con relación a los tratamientos realizados con aplicación de ultrasonido, en la Figura 26, se observa que los aquellos con 15 ciclos, es decir, mayor tiempo de acción presentan menor pérdida de firmeza.

Estos resultados se relacionan también a la migración de la papa por la permeabilidad del envase que ocasiona cambios en su apariencia y textura (Ierna et al., 2017). En estudios de papa con mayor cantidad de micronutrientes se observó una relación entre el mejoramiento de firmeza y la concentración sólidos totales, sólidos solubles totales, azúcares reductores y contenido de ácido ascórbico que se utilizó como agente de anti-oscorecimiento durante el almacenamiento de papa mínimamente procesada (Ierna et al., 2017 b).

3.7 Cambios en la concentración de fenoles totales durante el almacenamiento

Se midieron los cambios en la concentración de fenoles totales por medio de la técnica previamente descrita, de acuerdo con un análisis de variancia balanceado, los resultados obtenidos durante el muestreo no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a los días de almacenamiento ($p=0.122$), pero si respecto al tratamiento. Los tratamientos con ultrasonido de 15 ciclos de 50% y 70% de amplitud al igual que el tratamiento control con nanocápsulas presentan una disminución de fenoles totales como se aprecia en la Figura 27, en contraste, los tratamientos de 5 ciclos de acción ultrasónica y el tratamiento control de goma arábica presentaron un aumento en la concentración.

La presencia de fenoles en la papa ocasiona el oscurecimiento de esta y puede causar un deterioro durante el almacenamiento o procesamiento (Perla et al., 2012). La disponibilidad de polifenoles en el almacenamiento favorece la actividad enzimática de la enzima polifenol oxidasa.

El cambio más notorio se observó en el tratamiento de ultrasonido con 5 ciclos y 50% de amplitud (US5C50A) donde al tercer día de almacenamiento se presentaron valores mayores de fenoles.

El aumento de la concentración de fenoles según estudios se ha revelado que la concentración de fenoles puede variar en función a las características físicas de la papa, así como los procesos de biosíntesis de polifenoles, de igual manera se ha observado la recuperación de compuestos fenólicos y flavonoides a través de procesos de ebullición, cocción, microondas y exposición al vapor (Furrer et al., 2017).

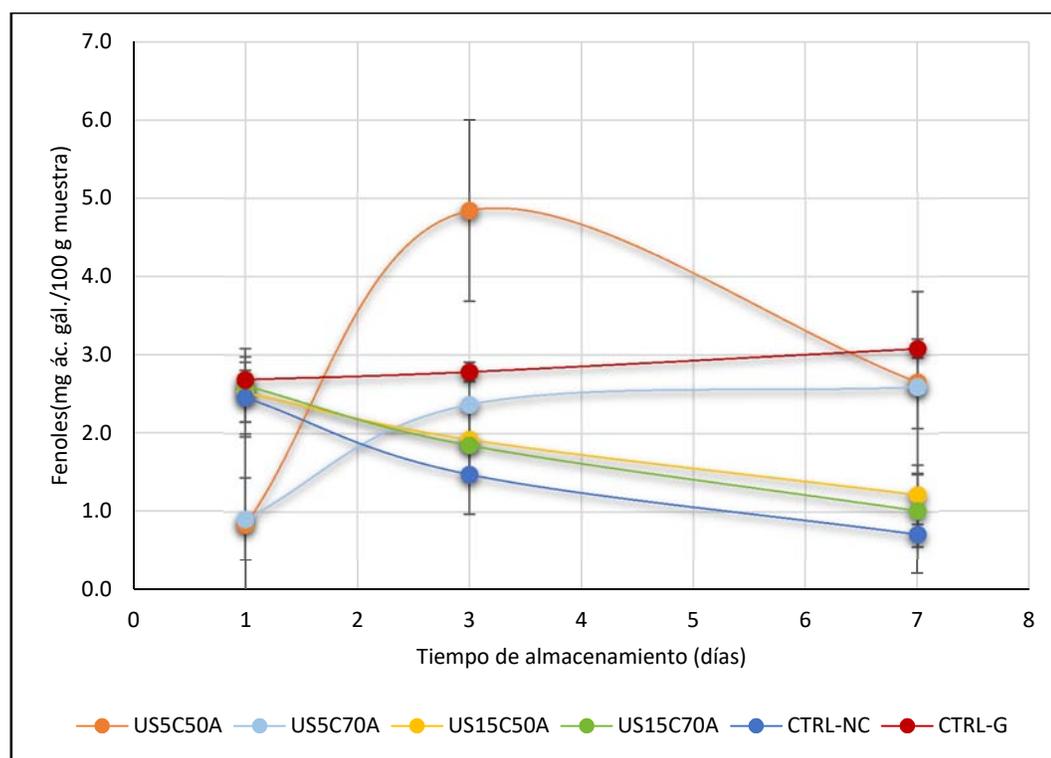


Figura 27. Cambios en la concentración de fenoles durante el almacenamiento. US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, CTRL-NC = control nanocápsulas, CTRL-G = control goma arábica.

La biosíntesis de los polifenoles como producto del metabolismo secundario tiene lugar a través de dos importantes rutas primarias: la ruta del ácido siquímico y la ruta de los poliacetatos.

La ruta del ácido siquímico proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina o tirosina), y la síntesis de los ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano). La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas, estas dos diferentes opciones influyen en la concentración de polifenoles y pueden ser causantes de la diferencia entre los valores de una muestra a otra. Además, numerosos factores medioambientales como la luz, el grado de madurez o el grado de conservación, pueden afectar al contenido total de polifenoles (Quiñones et al., 2012).

En contraste la oxidación de fenoles puede ocurrir como un resultado directo de la enzima polifenol oxidasa (PPO) o indirectamente como una consecuencia de reacciones secundarias con quinonas generadas con PPO (Parveen et al., 2010).

3.8 Cambios en la actividad enzimática peroxidasa durante el almacenamiento

Los resultados de actividad enzimática peroxidasa durante el muestreo, se observan en la Figura 28. Mediante un análisis de varianza con $\alpha = 0.05$ se probó que existen diferencias estadísticamente significativas respecto a los diferentes tratamientos y a los días de almacenamiento.

Los tratamientos con mayor actividad peroxidasa afectaron los parámetros colorimétricos de manera similar a estudios de perfiles de actividades enzimáticas realizados en jugos de manzana, fruta afectada por las mismas enzimas que la papa, elaborados en 2017 por Qu et al.

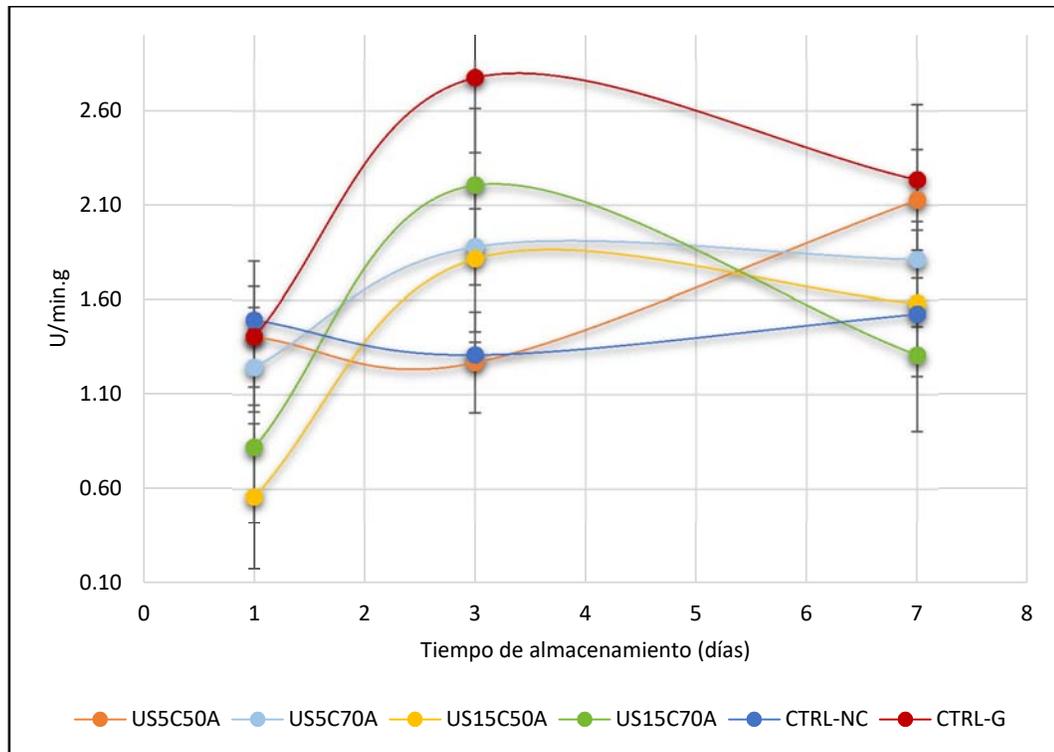


Figura 28. Cambios en la actividad de enzima peroxidasa durante el almacenamiento. US5C50A = ultrasonido 5 ciclos 50% amp, US5C70A = ultrasonido 5 ciclos 70% amp, US15C50A = ultrasonido 15 ciclos 50% amp, US15C70A = ultrasonido 15 ciclos 70% amp, CTRL-NC = control nanocápsulas, CTRL-G = control goma arábica.

Se observa que los tratamientos que presentaron una disminución en la actividad enzimática peroxidasa son los tratamientos de 5 ciclos y el tratamiento de nanocápsulas control, la acción de la enzima peroxidasa sobre los polifenoles forman quinonas que luego se polimerizan (Teoh et al., 2016), la inhibición de estas actividades se relaciona con la cantidad de aceite de romero absorbido en estos tratamientos, pues estudios han demostrado que la actividad antioxidante de los extractos de romero se debe particularmente a los ácidos carnósico y rosmarínico (Erkan et al., 2008).

Existe una estrecha correlación entre la actividad antioxidante y contenido fenólico de extractos obtenidos de diversas fuentes ha sido demostrado por varios trabajos de investigación, el ácido carnósico contenido en el aceite esencial de romero, con dos grupos hidroxilo fenólicos, tiene un mayor antioxidante poder que el ácido

rosmarínico, con cuatro compuestos fenólicos grupos hidroxilo, que rompen las reacciones de la cadena de radicales libres por la donación de átomos de hidrógeno y los iones metálicos quelantes (Erkan et al., 2008).

CONCLUSIONES

La aplicación de ultrasonido para la infiltración de nanocápsulas de aceite esencial de romero es una alternativa que presenta una amplia ventaja sobre el tratamiento convencional de transferencia de masa por inmersión, se lleva a cabo una disminución de tiempo de tratamiento de alrededor de 86 min y los resultados de absorción son muy similares, por otra parte, la aplicación de ondas sonoras de 50 y 70% de amplitud es indiferente, sin embargo, es recomendable utilizar tratamientos con ciclos de acción suficientes para lograr el mismo efecto de un tratamiento convencional. De acuerdo con los resultados obtenidos, el menor consumo de oxígeno del espacio libre de cabeza del envase resultó en una mejor conservación de parámetros colorimétricos como lo son la luminosidad, cromaticidad, ángulo Hue y menor índice de oscurecimiento.

Se presenta un efecto sinérgico entre la utilización de 15 ciclos de ultrasonido y la infiltración de nanocápsulas de aceite esencial de romero para mantener la firmeza y los parámetros de color relacionados con la concentración de fenoles totales cuya disponibilidad favorece el oscurecimiento enzimático por la presencia de actividad peroxidasa, auxiliado también por los valores pH favorables para la efectividad del aceite de esencial de romero.

De esta manera, la aplicación de nanotecnología junto con la tecnología emergente de ondas ultrasónicas para la infiltración de aceites esenciales resulta favorable en la conservación de un producto mínimamente procesado de alto consumo como la papa, cuya comercialización está limitada por procesos como pelado o cortado que desencadenan las reacciones que comprometen la calidad del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M.F., Varardo, V. (2016). Phenolic compounds in the potato and its byproducts: an overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 835.
- Amaral, R. D. A., Achaerandio, I., Benedetti, B. C., Pujolà, M. (2017). The influence of edible coatings, blanching and ultrasound treatments on quality attributes and shelf-life of vacuum packaged potato strips. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 449–455.
- Amarowicz, R., Naczek, M., Shahidi, F. (2000). Antioxidant activity of various fractions of non-tannin phenolics of canola hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2755–2759.
- AOAC. (1975). *Official Methods of Analysis*. 12th edition. Washington D.C. Association of Official Analytical Chemist International.
- Aquino-Bolaños, E., Mercado-Silva, E. (2004). Effects of polyphenol oxidase and peroxidase activity, phenolics and lignin content on the browning of cut jicama. *Postharvest Biology and Technology*, 33, 275-283.
- Avila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A. R., Vera-lópez, O., Dávila-Márquez, R. M., Melgoza-Palma, N., Meza-pluma, R. (2011). Romero (*Rosmarinus officinalis*): Una revisión de sus usos no culinarios. *Revista de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, 52, 23–36.

- Banse, J. (1980). Técnicas de almacenamiento en papas. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, Boletín 34, 2-15.
- Barrera-Arellano, D., Ruiz-Méndez, V., Velasco, J., Márquez-Ruiz, G. Dobarganes, C. (2002), Loss of tocopherols and formation of degradation compounds at frying temperatures in oils differing in degree of unsaturation and natural antioxidant content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1696-1702.
- Barros-Fernandes, R. V., Teodoro, R. A. R., Botrel, D. A., Borges, S. V., de Souza, A. U. (2014). Characterization of Microencapsulated Rosemary Essential Oil and Its Antimicrobial Effect on Fresh Dough. *Food and Bioprocess Technology*, 7(9), 2560–2569.
- Braun, T., Schubert, A., & Zsindely, S. (1997). Nanoscience and nanotechnology on the balance. *Scientometrics*, 38(2), 321–325.
- Cabezas-Serrano, A. B., Amodio, M. L., Cornacchia, R., Rinaldi, R., Colelli, G. (2009). Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 138–144.
- Castaner, M., Gil, M. I., Ruiz, V. M., Artes, F. (1999). Browning susceptibility of minimally processed Baby and Romaine lettuces. *European Food Research and Technology*, 209(1), 52–56.
- Chang, S.S. Ostric-Matijasevic B., Hsieh, O.A.L., Huang, C. (1977). Natural antioxidants from rosemary and sage. *Journal of Food Science*, 42(4), 1102-1106.

- Chécot, F., Lecommandoux, S., Klok, H.A., Gnanou, Y. (2003). From supramolecular polymersomes to stimuli-responsive nanocapsules based on poly (diene-b- peptide) diblock copolymers. *The European Physical Journal*, 10, 25–35.
- PROY-NMX-FF-022-2001. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Tubérculo Papa (*Solanum tuberosum*, L). Norma Mexicana.
- CONPAPA. Confederación Nacional de Productores de Papa de la República Mexicana (2013). Monografía del cultivo de la papa. Disponible en: <https://www.conpapa.org.mx/index.php/blog/itemlist/category/6-produccion> [Consultado el 1 de abril, 2018]
- Dixon, R. a., Paiva, N. L. (1995). Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *The Plant cell*, 7(7), 1085–1097.
- Erkan, N., Ayranci, G., Ayranci, E. (2008). Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus Officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chemistry*, 110(1), 76–82.
- Fernandes, F. A. N., Galla, M. I. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *Journal of Food Science*, 41, 604–610.
- Fessi, H., Puisieux, F., Devissaguet, J.P., Ammoury, N., Benita, S., (1989). Nanocapsule formation by interfacial polymerdeposition following solvent displacement. *International Journal of Pharmaceutics*. 55, R1–R4.
- Furrer, A., Cladis, D. P., Kurilich, A., Manoharan, R., Ferruzzi, M. G. (2017). Changes in phenolic content of commercial potato varieties through industrial processing and fresh preparation. *Food Chemistry*, 218, 47–55.

- Gonçalves, P. M., Noreña, C. P. Z., da Silveira, N. P., Brandelli, A. (2014). Characterization of starch nanoparticles obtained from *Araucaria angustifolia* seeds by acid hydrolysis and ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 21–27.
- González, M., & Vicente, I. (2015). *El color en la industria de los alimentos*. 2da ed. República de Cuba: Editorial Universitaria.
- Goula, A. M., Kokolaki, M., Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*, 105, 157–170.
- Hasbún, J., Esquivel, P., Brenes, A., Alfaro, I. (2008). Propiedades físicoquímicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*, 33(1), 77–89.
- Ierna, A., Rizzarelli, P., Malvuccio, A., Rapisarda, M. (2017, a). Effect of different anti-browning agents on quality of minimally processed early potatoes packaged on a compostable film. *LWT - Food Science and Technology*, 85, 434–439.
- Ierna, A., Pellegrino, A., Malvuccio, A. (2017, b). Effects of micronutrient fertilization on the overall quality of raw and minimally processed potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 134, 38–44.
- Krause, H.J., Rohdewald, P., (1985). Preparation of gelatin nanocapsules and their pharmaceutical characterization. *Pharmaceutical Research*. 5, 239–243.

- Lertsutthiwong, P., Noomun, K., Jongaroonngamsang, N., Rojsitthisak, P., Nimmanit, U. (2008, a). Preparation of alginate nanocapsules containing turmeric oil. *Carbohydrate Polymers*. 74, 209–214.
- Lertsutthiwong, P., Rojsitthisak, P., Nimmannit, U. (2008, b). Preparation of turmeric oil-loaded chitosan-alginate biopolymeric nanocapsules. *Materials Science and Engineering*, 29. 856-860.
- Lisinska, G., Leszczynski, W. (1989). Potato science and technology. *Elsevier Applied Science Publishers*. 54, 391.
- Lombardo, S., Restuccia, C., Muratore, G., Barbagallo, R.N., Licciardello, F., Pandino, G., Scifò, O., Mazzaglia, A., Ragonese, F., Mauromicale, G. (2017). Effect of nitrogen fertilization on the overall quality of minimally processed globe artichoke heads. *Postharvest Biology and Technology*. 136, 23–30.
- Luque-Sainz, E.J. (2014). Fundación Produce Sinaloa. Variedades de papa. Disponible en: <https://www.fps.org.mx/hortalizas126/variedadesdepapa> [Consultado el 1 de abril, 2018]
- Mathias-Rettig, K., Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible *Color. Agrosur: Universidad Austral de Chile*, 42(2), 39–48.
- Meneses, N., Jaeger, H., Knorr, D. (2011). pH changes during pulsed electric field treatments-Numerical simulation and in situ impact on polyphenoloxidase inactivation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(4), 499–504.
- Mora-Huertas, C. E., Fessi, H., Elaissari, A. (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 385(1–2), 113–142.

- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola*, 36–37.
- Nourian, F., Ramaswamy, H. S., Kushalappa, A. C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 49–65
- OEIDRUS.Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (2009). Producción de semilla de papa en Baja California. Disponible en: http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/DocumentoPAPA.pdf [Consultado 1 de mayo, 2018]
- Oladejo, A. O., Ma, H., Qu, W., Zhou, C., Wu, B., Yang, X., Onwude, D. I. (2017). Effects of ultrasound pretreatments on the kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of sweet potato (*Ipomea batatas*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 43, 7–17.
- Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixido, N., Viana, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables - a review. *Trends in Food Science and Technology*, 46, 13-26.
- Parveen, I., Threadgill, M. D., Moorby, J. M., Winters, A. (2010). Oxidative phenols in forage crops containing polyphenol oxidase enzymes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 1371-1382.
- Peña, C. B., Restrepo, L. P. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actualización En Nutrición*, 14(1), 25–32.

- Perla, V., Holm, D. G., Jayanty, S. S. (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 161–171.
- Quintanar-Guerrero, D., Allémann, E., Doelker, E., Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification-difussion technique. *Pharmaceutical Research*, 15(7), 1057–1062.
- Quiñones, M., Miguel, M., Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria: Órgano Oficial de La Sociedad Española de Nutrición Parenteral Y Enteral*, 27(1), 76–89.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., & Niranjan, K. (2005). 9 – Developments in Osmotic Dehydration. *In Emerging Technologies for Food Processing*, 221-249.
- Rivera Velasco, J. E., Herrera Arévalo, A., Rodríguez Molano, L. E. (2003). Procesamiento de papa criolla precocida y congelada mediante la técnica de congelación individual (IQF), en seis genotipos promisorios de papa criolla (*solanum phureja*), *Diario Agronomía Colombiana*. 21(1–2), 95–101.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 139–147.
- Román, M., Hurtado, G. (2002). La Papa. *Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal*, 34, 11-13.

- Teoh, L. S., Lasekan, O., Adzahan, N. M., Hashim, N. (2016). The effect of ultraviolet treatment on enzymatic activity and total phenolic content of minimally processed potato slices. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 3035–3042.
- Vázquez, C., Rubio, C., Salinas, M., Santiago, D. (2012). Usos alternativos de la papa en el Estado de México. *Libro Técnico No. 15*, 114.
- Villaseñor, C. P., Palacios, M. M., González, A. B. (2012). Principios físicos básicos del ultrasonido. *Mediagraphic*, 1, 25–34.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real L., A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). The effect of nanocoatings with tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 188–196.
- Zhao, W., Shehzad, H., Yan, S., Li, J., Wang, Q. (2017). Acetic acid pretreatment improves the hardness of cooked potato slices. *Food Chemistry*, 228, 204–210.