



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Tratamiento postescaldado con inulina y su efecto  
sobre propiedades fisicoquímicas y texturales en  
papa cortada en congelación**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**CRISTINA SÁNCHEZ PÉREZ**

**ASESORES**

**DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

**I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

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

Tratamiento postescaldado con inulina y su efecto sobre propiedades fisicoquímicas y texturales en papa cortada en congelación.

Que presenta la pasante: **Cristina Sánchez Pérez**

Con número de cuenta: **311206263** 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 08 de Mayo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
VOCAL	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
SECRETARIO	Dra. María Guadalupe López Palacios	
1er. SUPLENTE	I.A. Verónica Romero Arreola	
2do. SUPLENTE	M. N.H. Juana Gutiérrez Bautista	

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 apoyo en los requerimientos financiero para la realización de este trabajo
- Al proyecto PIAPI 1801 “Evaluación y diseño de sistemas nanopartículados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal. FES-Cuautitlán-UNAM
- Cristina Sánchez Pérez 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, Campo IV FES-Cuautitlán-UNAM.

## DEDICATORIAS

- A mis padres, Estela y Fernando no hay palabras con las que pueda expresar todo el amor que siento hacia ustedes. Agradezco profundamente todo el apoyo y cariño incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida. Son los responsables de que pueda cumplir esta meta, sin ustedes esto no hubiera sido posible. Este logro también es suyo porque gracias a su trabajo, enseñanzas, lecciones, motivación y el ejemplo que me han dado, yo pude concluir con éxito mis estudios universitarios. A mi hermano, Osvaldo, porque aunque somos muy diferentes en personalidad sé que siempre puedo contar contigo para cualquier situación, tú también has sido cómplice y responsable de que pueda alcanzar mis metas y sueños. Sé que no suelo ser muy expresiva con ustedes pero quiero que sepan que son las personas más importantes para mí.
- A mis amigos: Alma, Diego, Ingrid, Laura, Victoria, Yennitze, Zatzil y a todos los que estuvieron a mi lado durante estos cinco años. En especial y sin hacer menos a los demás, quiero agradecer a Claudia, David Omar, Rubi y Tania Herrera, sin duda ustedes fueron uno de los mejores regalos que la UNAM me dio. Gracias, amigos, por estar conmigo durante estos años, por su tiempo, regaños, cariño, comprensión y apoyo académico. Ustedes me vieron crecer y desarrollarme como persona, con cada uno viví diversas cosas, algunos me vieron reír, gozar, sufrir o llorar y sin importar la situación siempre estuvieron ahí. Gracias porque nunca me dejaron caer y darme por vencida, por toda la felicidad que me hicieron sentir, por todas las memorias que siempre atesoraré. Los quiero mucho y espero siempre formar parte de su vida.

- También quiero expresar mi agradecimiento a Nicté y Lucero ustedes me han acompañado desde antes que todo esto iniciara. Gracias por permanecer a mi lado sin importar la distancia y el tiempo, las quiero.
- A la Dra. Luz Zambrano y al I.A. Alfredo Álvarez por todo su apoyo durante la realización de este trabajo, por compartir conmigo todo su conocimiento y experiencia. Por tener la paciencia necesaria para guiarme cuando no fui la mejor estudiante y cometía errores. Gracias por sus enseñanzas y por alentarme constantemente a ser una mejor persona. Los admiro profesionalmente y me llena de satisfacción haber trabajado con ustedes.
- A mis compañeros y amigos del laboratorio L16: Claudia, César, David, David Eduardo, Dafne, Jorge y Liliana gracias por orientarme, explicarme y motivarme, pero también por los momentos de alegría y diversión que vivimos. Porque juntos concluimos nuestra formación en la universidad.
- A mis sinodales, la Dra. Luz Zambrano, I.A. Miriam Álvarez, Dra. María Guadalupe López, I.A. Verónica Romero y M.N.H. Juana Gutiérrez por su apoyo y colaboración en la revisión de este trabajo.
- Finalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México, mi segunda casa, gracias por brindarme la mejor preparación profesional y personal, por abrirme las puertas del mundo y de un mejor futuro, por darme a las mejores personas y experiencias de mi vida. Es un orgullo para mí pertenecer a esta institución. Y desde que inicié mi bachillerato puedo decir con inmensa alegría que soy y seré sangre azul y piel dorada.

## ÍNDICE

Página

### RESUMEN

### INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1.	Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	1
1.1.1.	Taxonomía y morfología	1
1.1.2.	Composición química	3
1.1.3.	Variedades de papa	6
1.1.4.	Importancia comercial del producto	9
1.1.5.	Almacenamiento de papa	9
1.1.5.1.	Deterioro durante el almacenamiento	10
1.1.5.2.	Degradación de almidón	11
1.1.5.3.	Enverdecimiento	11
1.1.5.4.	Desordenes fisiológicos	12
1.1.5.5.	Daños por frío	13
1.1.5.6.	Enzimas responsables del deterioro	13
1.2.	Conservación de alimentos a baja temperatura	14
1.2.1.	Congelación de alimentos	14
1.2.1.1.	Crecimiento del cristal de hielo	14
1.2.1.2.	Curva de congelación	16
1.3.	Crioprotectores	18
1.3.1.	Importancia	18
1.3.2.	Polímeros como crioprotectores en alimentos	19
1.3.3.	Fructanos de agave: Inulina	19
1.4.	Escaldado de la papa	22
1.5.	Antioxidantes	24

### CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1.	Problema y justificación	27
2.2.	Objetivo general y particulares	28
2.3.	Selección y justificación de variables	29
2.4.	Diseño experimental	29
2.5.	Actividades preliminares	31
2.5.1.	Acondicionamiento de congeladores	31
2.5.2.	Acondicionamiento de equipo de escaldado	33
2.5.3.	Selección de materia prima	33
2.5.4.	Elaboración de disoluciones	33
2.5.5.	Selección de material de envase	33
2.6.	Actividades experimentales	34
2.6.1.	Descripción del diagrama de proceso	34
2.6.2.	Determinación de color	38
2.6.3.	Determinación de fenoles totales	39
2.6.4.	Determinación de actividad peroxidasa	39

2.6.5. Determinación de textura	40
2.6.6. Determinación microscopia digital	40
2.6.7. Determinación de pérdida de peso	41
2.6.8. Determinación de pH	41
<b>CAPÍTULO III. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
3.1 Acondicionamiento de congeladores	42
3.2 Resultados actividades experimentales	43
3.2.1 Pérdida de peso	43
3.2.2 Velocidad de congelación	45
3.2.3 Evaluación de color	48
3.2.3.1 Luminosidad	48
3.2.3.2 Cromaticidad	51
3.2.3.3 Índice de oscurecimiento	52
3.2.3.4 Ángulo HUE	54
3.2.4 Fenoles totales	56
3.2.5 Actividad enzimática	57
3.2.6 Textura	58
3.2.6.1 Análisis de perfil de textura	59
3.2.6.2 Evaluación de firmeza	64
3.2.7 Análisis de imagen	65
3.2.8 pH	67
<b>CONCLUSIONES</b>	70
<b>RECOMENDACIONES</b>	71
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Nombre de la figura	Página
Figura 1	Morfología de la planta de papa	3
Figura 2	Composición química de la papa	4
Figura 3	Cinética de congelación de (a) agua pura y (b) de una solución acuosa	17
Figura 4	Unidades estructurales de fructanos de agave	21
Figura 5	Cámara de almacenamiento	31
Figura 6	Temperaturas por zonas de la cámara de almacenamiento	32
Figura 7	Temperaturas por zonas de la cámara de congelación	32
Figura 8	Envase de polietileno de alta densidad	34
Figura 9	Diagrama de proceso	34
Figura 10	Cortador <i>super slicer</i>	35
Figura 11	Papa cortada en cubos	35
Figura 12	Escaldado de papa	36
Figura 13	Sellado térmico	37
Figura 14	Papa envasada	37
Figura 15	Elemento sensor en centro de la papa	37
Figura 16	Termómetro <i>Hanna Cal Check</i>	38
Figura 17	Agrocolorímetro <i>Apollinaire</i>	39
Figura 18	Espectrofotómetro <i>Genesys 10S UV-VIS</i>	39
Figura 19	Texturómetro <i>Brookfield</i>	40
Figura 20	Microscopio digital <i>Celestron</i>	41
Figura 21	Balanza digital	41
Figura 22	Potenciómetro <i>Hanna</i>	41
Figura 23	Pérdida de peso en cubos de papa almacenados en refrigeración	45
Figura 24	Curvas de congelación con diferentes tratamientos en papa cortada en cubos, preenfriada por inmersión	46
Figura 25	Curvas de congelación con diferentes tratamientos, previamente enfriados por aspersion	46
Figura 26	Cambios en luminosidad en función a los tratamientos y tiempo de almacenamiento	49
Figura 27	Comportamiento de cromaticidad por efecto del tratamiento y tiempo	52
Figura 28	Comportamiento del índice de obscurecimiento en función al tratamiento	54
Figura 29	Comportamiento del ángulo HUE por efecto del tratamiento y tiempo	55
Figura 30	Comportamiento de fenoles por efecto del tratamiento y tiempo	56

Figura 31	Actividad peroxidasa por efecto del tratamiento y tiempo.	58
Figura 32	Cambios en dureza por compresión durante el primer ciclo en papa en cubos	60
Figura 33	Cambios en dureza por compresión durante el segundo ciclo en papa en cubos	61
Figura 34	Cambios de elasticidad por efecto del tratamiento post-escaldado	62
Figura 35	Comportamiento del tratamiento postescaldado en la cohesividad de papa en cubo	63
Figura 36	Comportamiento del tratamiento postescaldado en la firmeza de papa en cubo	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Número	Nombre de la tabla	Página
Tabla 1	Características de las variedades más importantes para producción de semilla	7
Tabla 2	Variedades de papa <i>Solanum tuberosum</i>	8
Tabla 3	Factores y niveles de variación en la congelación de papa postescaldada	29
Tabla 4	Diseño factorial 3 <sup>k</sup>	30
Tabla 5	Descripción técnica de las cámaras de congelación y almacenamiento	32
Tabla 6	Temperaturas por zonas en la cámara de almacenamiento en congelación	42
Tabla 7	Temperaturas por zonas de la cámara de congelación	43
Tabla 8	Parámetros de congelación de papa escaldada	47
Tabla 9	Micrografías de papa durante su almacenamiento	66
Tabla 10	Cambios de pH durante el almacenamiento en papa cortada congelada	68
Tabla 11	Agrupación de medias para pH	68

## RESUMEN

La papa a nivel nacional y mundial, es un producto básico en la dieta de la población. El consumo de productos mínimamente procesados de papa va en aumento; sin embargo, por las condiciones de procesamiento o por reacciones enzimáticas, el producto final presenta modificaciones en sus características. Considerando la importancia comercial de los productos procesados elaborados a partir de papa, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del tratamiento crioprotector postescaldado en papa congelada durante 30 días. Se evaluaron los cambios en los parámetros de calidad, después de ser sometida al proceso de congelación y descongelación. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas, térmicas y de textura durante su almacenamiento en congelación durante un periodo de estabilización de 24 h, 15 días y 30 días. La papa fue seleccionada con base a sus características físicas (tamaño, color, etcétera), libre de daños mecánicos y podredumbres, previo a su utilización, se realizó un lavado, pelado, cortado, posteriormente se llevó a cabo el escaldado por 6 minutos a 85 °C. La aplicación de los diversos tratamientos se realizó en el enfriamiento de la papa, es decir, posterior al escaldado. El líquido empleado para los post-tratamientos tuvo una temperatura de 8 °C y fueron los siguientes: tratamiento control (agua), ácido ascórbico 0.25 %, ácido ascórbico 0.5 % y ácido ascórbico 0.25 % con inulina 2 %, siendo el ácido 0.25 % y la combinación de este con inulina los que presentaron los mejores resultados. El crioprotector contribuyó a tener una mejor elasticidad, mejoró algunos parámetros de color y se observó una disminución en la actividad enzimática, ayudando a mantener por más tiempo las características fisicoquímicas de la papa y haciendo al producto visiblemente más aceptable para el consumidor.

## INTRODUCCIÓN

La papa se considera un alimento básico y necesario en la dieta del mexicano, debido a su valor energético y nutritivo. A nivel mundial se siembran más de 18 millones de hectáreas, por lo que ocupa el 4to lugar en importancia para la alimentación humana. En México, el rendimiento de papa es de 27 Ton/Ha y una producción anual de 1,751,000 Ton (SAGARPA, 2010). Es un alimento muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas hidrosolubles, minerales y fibra. Además, tiene un contenido no despreciable de proteínas (CONPAPA, 2017). En México, se cultiva papa en casi todos los estados, siendo las principales regiones productora las del norte del país, así como la región del Bajío (Coria *et al.*, 2004).

La composición química de la papa puede variar sustancialmente, de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (Hasbún *et al.*, 2009).

Debido a que los tubérculos son organismos vivos, las pérdidas fisiológicas se producen por la exposición a temperaturas extremas, por la respiración natural de la materia seca y por las pérdidas de agua por transpiración. La magnitud de las pérdidas depende del ambiente de almacenamiento, pero siempre será mayor en aquellos tubérculos dañados y enfermos, que en los completamente sanos. El daño fisiológico puede ocurrir por la exposición de los tubérculos a altas o bajas temperaturas antes, durante o después del almacenamiento (Booth y Shaw, 1990). La papa es el vegetal de raíz principal que contiene almidón, fibra y es una fuente para muchas aplicaciones de alimentos para humanos y animales. Sin embargo, la vida útil del producto fresco es limitada porque es estacional y tiene un alto contenido de humedad que no puede mantener una buena calidad durante

un período prolongado. En los últimos años, los hogares modernos prefieren consumir productos semiprocesados, como productos congelados, para preparar comidas debido a la comodidad de uso y almacenamiento.

La congelación es uno de los métodos de conservación tradicional que recientemente ha tomado más importancia. Sin embargo, al ser un método que implica la separación del agua pura de una solución en forma de cristales de hielo, presenta inconvenientes para la industria. En cuanto a los daños por frío, algunas de estas afectaciones son las picaduras, lesiones superficiales, ruptura del tejido y pérdida de agua, oscurecimiento interno de la pulpa y desordenes en el proceso de maduración. Estos daños inician cuando los tubérculos son almacenados a temperaturas menores a 4°C (Barreiro y Sandoval, 2006). Para minimizar los daños causados por dichos procesos se han utilizado crioprotectores (Fernández *et al.*, 2008), los cuales son componentes que interactúan con el agua, disminuyendo la velocidad de crecimiento de cristal de hielo y alterando su forma, mejorando la calidad y alargando la duración de los alimentos congelados. Como crioprotectores se cuenta con muchos compuestos, algunos de éstos son: azúcares, aminoácidos, polioles, metilaminas, polímeros de carbohidratos, polímeros sintéticos (polietilenglicol), proteínas (albúmina sérica), y algunas sales inorgánicas (fosfato de potasio y sulfato de amonio) (Mac Donald *et al.*, 1997). Dentro de los crioprotectores más comunes se encuentran: glicerol, propilenglicol, sacarosa, propanodiol e inulina.

La inulina es un prebiótico, proveniente de la fructosa, no digerible, libre de sabor y con bajo aporte calórico, que se emplea en la preparación de varios alimentos para incrementar cuerpo, textura, consistencia, viscosidad y humedad, proporciona una sensación en la boca similar a la grasa, así como para añadir fibra a productos alimenticios (Niness, 1999).

El escaldado es una operación de calentamiento aplicada antes de la congelación, enlatado o secado de frutas y verduras para inactivar las enzimas, mejorar la textura, retener color, sabor y valor nutricional, reducir los recuentos de patógenos

y bacterias y extender la vida útil de los alimentos (Reyes De Corcuera *et al.*, 2011). Debido a que el factor principal de la degradación de la calidad de las frutas y verduras procesadas se debe a varias enzimas, la inactivación de las enzimas es importante. Por otro lado, el escaldado también causa una degradación de calidad de los productos. Los polisacáridos de pectina, que contribuyen a la adhesión célula-célula en el tejido vegetal, son eliminados por calentamiento a alta temperatura (Christiaens *et al.*, 2011). Esta degradación del tejido da como resultado una pérdida de textura.

En el escaldado de la papa se busca la inactivación de las enzimas que puedan ser perjudiciales en la calidad del producto final como la enzima polifenoloxidasas que es la responsable del pardeamiento en los tubérculos procesados (Limbo y Piergiovanni, 2006). La inactivación de ésta enzima indica el grado de escaldado en vegetales (Lima *et al.*, 2016).

## CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

### 1.1 Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial (FAO, 2008). La papa es un alimento, muy nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón, así como funciones reguladoras del organismo por su elevado contenido en vitaminas hidrosolubles, minerales y fibra. Además, tiene un contenido no despreciable de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal (CONPAPA, 2018).

#### 1.1.1 Taxonomía y morfología

La papa pertenece a la familia Solanaceae, la cual es de gran importancia económica, en ella están incluidas otras especies que producen alimentos, entre las cuales se pueden mencionar: *Solanum melongena* (berenjena), *Lycopersicon esculentum* (jitomate), *Capsicum annum* (chile), Actualmente se reconoce una sola especie de *Solanum tuberosum* con dos subespecies *tuberosum* y *andigena*.

La morfología de la planta de la papa es la siguiente (Figura 1):

**Flor.** Las flores son pentámeras, de colores diversos, tienen estilo y estigma simples y ovario bilocular.

**Tallo.** El tallo aéreo que puede ser ramificado es generalmente hueco y triangular en sección transversal; tiene alas rectas u onduladas, la parte basal es redonda y sólida. El tallo se considera principal si crece directamente del tubérculo y a las ramas laterales de éste se le denomina tallo secundario.

**Hojas.** Las hojas son compuestas y consisten de un peciolo con foliolo terminal, foliolos laterales secundarios y a veces terciarios intersticiales.

**Tubérculo.** El tubérculo es un engrosamiento del estolón. Se puede considerar como una parte del tallo adaptado para el almacenamiento de reservas alimenticias y de reproducción. Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos. Estos tallos sufren en consecuencia un engrosamiento y así se producen unos cuantos o hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo. El número de tubérculos que llegan a madurar depende de la disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo (Tirilly y Bourgeois, 2002).

La distancia entre la cutícula y el anillo vascular es normalmente de 0.5 centímetros, pero éstos están más o menos unidos cerca de los ojos donde se conectan con el estolón. Los tubérculos presentan diferentes formas, tamaños y colores dependiendo de la variedad. Generalmente, las papas tienen formas alargadas, redondas u oblongas; y pueden ser rosadas, blancas, amarillas o rojizas.

Cada tubérculo está constituido desde el exterior por una cáscara, lenticelas, nudos, yemas y un fragmento o cicatriz proveniente de la unión del estolón del cual se origina la papa. Mientras que en el interior, el tubérculo, está formado por una corteza, parénquima vascular de reserva, anillo vascular y tejido medular.

La cáscara o epidermis es una capa delgada cubierta por una membrana cuticular que posee ceras naturales embebidas en ella y sobre la superficie. Esta epidermis le sirve de protección contra daños mecánicos, ingreso microbiano y penetración de productos químicos, además de regular factores como el intercambio de gases

metabólicos, transpiración de humedad, volatilización de compuestos aromáticos y resistencia a los daños por frío (Barreiro y Sandoval, 2006).

Ocasionalmente la continuidad de las células epidérmicas presenta discontinuidad en ciertas zonas donde existen otras estructuras, las estomas y las lenticelas.

**Brote.** El brote es el inicio de un tallo y se forma en los ojos del tubérculo a partir de una yema. En un ojo puede haber tres o más yemas en las cuales se distinguen una serie de partes como; promordios foliares enclaustrados, radículas, estalones, lenticelas y tricomas (Rubio *et al.*, 2000).

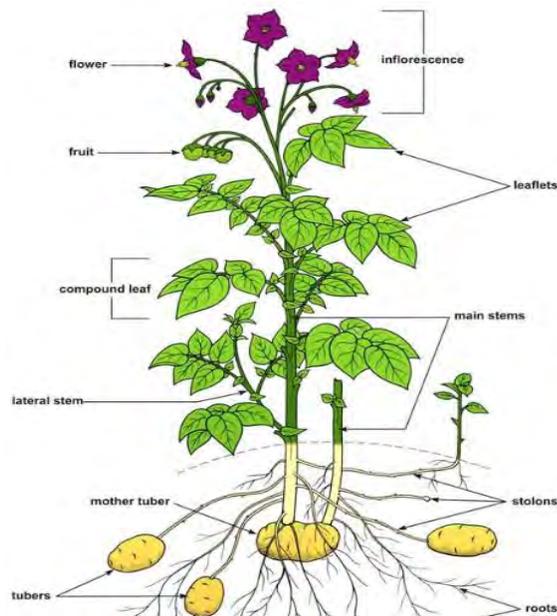


Figura 1. Morfología de la planta de papa (CIP, 2018)

### 1.1.2 Composición química

La composición química de la papa (Figura 2), puede variar sustancialmente, de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo (calidad de la semilla, tipo de suelo, fertilizantes, temperatura, humedad, luz), grado de madurez y condiciones de almacenamiento (Hasbún *et al.*, 2009).

El grado de variación composicional entre los tubérculos de papa ha sido relacionado también al tipo, desarrollo, anatomía y a la parte del tejido al que se le realicen los análisis.

La papa recién cosechada, contiene un 80 % de agua y un 20 % materia seca. Entre el 60 % y el 80 % de esta materia seca es almidón. Respecto a su peso en seco, el contenido de proteína de la papa es análogo al de los cereales, y es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos.

Además, la papa tiene poca grasa. Las papas tienen abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C: una papa media, de 150 g, consumida con su piel, aporta casi la mitad de las necesidades diarias del adulto (100 mg). La papa contiene una cantidad moderada de hierro, pero el gran contenido de vitamina C fomenta la absorción de este mineral. Además, este tubérculo tiene vitaminas B1, B3 y B6, y otros minerales como potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico y riboflavina. También contiene antioxidantes alimentarios, los cuales pueden contribuir a prevenir enfermedades relacionadas con el envejecimiento, y tiene fibra, cuyo consumo es bueno para la salud (FAO, 2008).

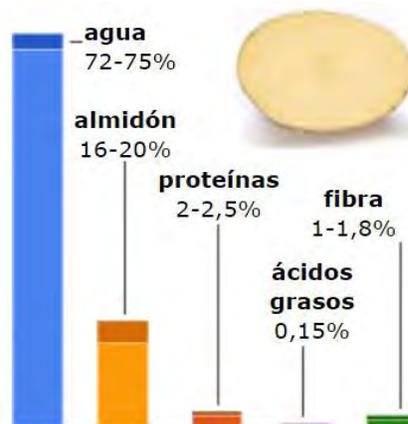


Figura 2. Composición química de la papa (FAO, 2008)

Dentro de los principales componentes de la papa se encuentran:

**a) Carbohidratos**

La mayor parte de la materia seca del tubérculo se encuentra en forma de almidón azúcares y otros polisacáridos. El almidón constituye alrededor del 65-80 % de la materia seca de la papa, es energéticamente hablando el componente nutricional más importante (Talbert y Smith, 1987).

La fibra alimentaria representa 1 - 2 % del total de la papa y se encuentra perfectamente en la piel.

La concentración de azúcares simples es baja (0.1 - 0.7 %) siendo los más importantes la glucosa, fructosa y sacarosa.

**b) Compuestos Nitrogenados**

Constituyen el segundo componente de la papa, con 3 a 15 % de la materia seca, estos se incrementan con la madurez del tubérculo. Tiene un contenido no despreciable de proteínas, presentando éstas un valor biológico relativamente alto dentro de los alimentos de origen vegetal (CAMAGRO, 2005).

El valor de la proteína no se afecta significativamente al cocinar la papa. La mayoría de las proteínas se ubican en el cortex (zona inmediata debajo de la piel) y la médula (zona central). Como fracciones proteicas más abundantes se destacan las albúminas (49 %) y globulinas (26 %) seguidas de prolaminas (4.3 %) y glutelinas (8.3 %). Ensayos en nutrición humana sugieren que las proteínas de papa son de alta calidad cuando se comparan con otras proteínas de origen vegetal (Rodríguez y Ríos, 2010).

**c) Lípidos**

El porcentaje de lípidos o grasa cruda en la papa “en fresco” es muy bajo. No tienen importancia desde un punto de vista cuantitativo (0.1 %) y se encuentran mayoritariamente en la piel.

#### **d) Vitaminas**

La papa contiene cantidades significativas de vitamina C (ácidos ascórbico y dehidroascórbico), además de otras vitaminas hidrosolubles, como tiamina y vitamina B6. Las vitaminas solubles en aceite están presentes en pequeños trazos.

Una papa cocinada pierde entre un 18 – 24 % de vitamina C a través de su pellejo, sin él, la pérdida puede estar entre un 35 – 50 %.

#### **e) Minerales**

Posee potasio, especialmente en el pellejo, y cantidades moderadas de fósforo, cloro, azufre, magnesio y hierro.

#### **f) Fenoles**

La papa contiene un bajo porcentaje de compuestos fenólicos, la mayoría de los cuales se encuentra en su pellejo. Los fenoles afectan el oscurecimiento de la papa. Las reacciones de aminoácidos y proteínas con carbohidratos, lípidos y fenoles oxidados, causan un deterioro de los alimentos durante su almacenamiento y procesamiento (CONPAPA, 2017).

### **1.1.3 Variedades de papa**

En México, existe un importante número de variedades entre las que destaca Alpha, además de que se cuenta con otras como Rosita, Atlantic, Diamante, Motzamba, Tollocan, Atzimba, Greta, Murca, Furore, White Rose y Criolla (SAGARPA, 2011).

En la Tabla 1 y 2 se muestran las características de las variedades más importantes para producción de semilla y las variedades de papa *Solanum tuberosum* respectivamente.

Tabla 1. Características de las variedades más importantes para producción de semilla (OEIDRUS, 2009).

Atlantic	<p>Origen: USA, 1978.</p> <p>Características: Tubérculo redondeado, piel casposa, ojos superficiales, carne blanca, buen calibre, rendimiento mediano, madurez temprana, medianamente resistente a sarna común, Verticillium y PVX (virus del mosaico latente). Susceptible a corazón hueco, Phytophthora infestans y PVY (Virus del mosaico severo). Calidad culinaria, alta materia seca, muy buena para chips, baja capacidad de almacenamiento.</p>
Alpha	<p>Origen: Esta variedad de Holanda desde el año 1925.</p> <p>Descripción: Tiene un tubérculo ovalado con cáscara amarilla y pulpa amarilla ligera. La planta es mediana, extendida y tiene varias flores.</p> <p>Características: Tiene un rendimiento alto, su mercado es de uso de mesa y para hervir. Su madurez es muy tardía de 130 a 140 días. La planta resiste la sequía, calor, tizón tardío y sarna común. Es susceptible a enrollamiento de hoja y PVY. En almacenamiento dura bastante tiempo con poca brotación.</p>
Fianna	<p>Origen: Holanda</p> <p>Descripción: Los tubérculos son ovalados y alargados, piel amarilla, carne amarilla clara. Cobertura de follaje media a alta. Flor color blanca y brote azul.</p> <p>Características: Tamaño grande a muy grande, rendimiento alto, maduración semitardía. Buena resistencia a PLRV (virus del enrollamiento de la hoja) y sarna común. Buen comportamiento a Phytophthora Infestans y Virus PVY (virus del mosaico severo). Alta materia seca.</p>
Giant	<p>Características: Gran variedad de alto rendimiento que tiene una buena resistencia a la sequía. Alto contenido de materia seca. Buena aptitud y capacidad de almacenamiento.</p>
César	<p>Características: Variedad de alto rendimiento; uniforme en la clasificación. Buena resistencia a la sequía y de crecimiento secundario, moderadamente buena resistencia a la contusión interna. Peso específico medio.</p>

Si bien la papa cultivada internacionalmente pertenece a una única especie botánica, *Solanum tuberosum*, existen miles de variedades con grandes diferencias de tamaño, forma, color, textura, cualidades y sabor.

Tabla 2. Variedades de papa *Solanum tuberosum* (FAO, 2008)

		
<p><b>Atahualpa</b> Producida en el Perú, de gran rendimiento, óptima para el horno y la sartén</p>	<p><b>Nicola</b> Variedad holandesa muy popular, de las mejores para hervir y en ensaladas</p>	<p><b>Russet Burbank</b> La clásica papa de los Estados Unidos, excelente al horno y frita a la francesa</p>
		
<p><b>Lapin puikula</b> Centenaria en Finlandia, crece en campos bañados de luz de medianoche</p>	<p><b>Yukon Gold</b> Tubérculo canadiense de pulpa amarilla, inmejorable frita, al horno, en puré</p>	<p><b>Tubira</b> Se produce en África occidental, de pulpa blanca, piel rosada. Muy productiva</p>
		
<p><b>Vitelotte</b> Especialidad francesa apreciada por su piel azul oscura y su pulpa violeta</p>	<p><b>Royal Jersey</b> De la Isla de Jersey, única hortaliza de la UE con denominación de origen</p>	<p><b>Kipfler</b> Variedad alemana alargada de pulpa color crema, frecuente en la ensalada</p>
		
<p><b>Papa colorada</b> Llega a las Canarias en los barcos españoles, en 1567</p>	<p><b>Maris Bard</b> Variedad británica blanca de textura suave como la cera, apta para hervirse</p>	<p><b>Désirée</b> De piel roja, pulpa amarilla y sabor característico</p>

#### **1.1.4 Importancia comercial del producto**

En México, se cultiva papa en casi todos los estados, excepto en Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, siendo las principales regiones productora las del norte del país, así como la región del Bajío (Coria *et al.*, 2004). La importancia de la papa en nuestro país, radica básicamente en dos hechos: Por un lado, su alto valor alimenticio, ya que los especialistas consideran que la papa contiene carbohidratos, proteínas, celulosa, minerales, así como vitaminas A, C, G y vitaminas del complejo B.

#### **1.1.5 Almacenamiento de papa**

El almacenamiento permite comercializar la papa a lo largo del año de modo que los consumidores dispongan fácilmente del producto y evita las fluctuaciones importantes en el abastecimiento (Booth, 1990). El principal objetivo del almacenamiento es conservar la mayor cantidad de agua dentro del tubérculo (CAMAGRO, 2005).

Un buen almacenamiento será aquel que prevenga la pérdida de humedad, desarrollo de raíces y el excesivo crecimiento de brotes (Talbert y Smith, 1987). Así como impedir el desarrollo de microorganismos que ocasionen enfermedades en el producto, ya que las enfermedades son una importante fuente de pérdidas, particularmente en combinación con un manejo rudo y pobre control de la temperatura.

La calidad de las papas es una combinación de diversas características físico-químicas y nutricionales, que están muy influenciadas por las condiciones de almacenamiento. Las papas de buena calidad son firmes, relativamente lisas y sin defectos, brotes y colores desfavorables. Sin embargo, estos factores pueden variar según el grado de madurez, el tiempo de cosecha, la variedad y las condiciones de almacenamiento. El primer juicio de calidad realizado por un consumidor es por su apariencia visual y el color es uno de los atributos de

aparición más importantes, que influyen en la aceptabilidad de los consumidores. Los colores anormales hacen que el producto sea rechazado por el consumidor. Además del color, la textura del producto es una preocupación principal para el consumidor como un indicador de la calidad del producto.

Las condiciones de almacenamiento pueden promover cambios extensos en la composición química de los tubérculos, que también se consideran atributos de calidad. Los cambios en la composición a su vez influyen en la calidad de textura y apariencia de las papas. Se han reportado interrelaciones entre las características de calidad física y bioquímica de los tubérculos entre el pH, la acidez, en el color, así como entre la textura y el almidón.

El almacenamiento tiene múltiples efectos sobre el contenido de azúcar de las patatas, el almidón, las enzimas, la respiración y los ácidos orgánicos. Es difícil mantener la calidad de la papa cruda durante el almacenamiento. Por otro lado, las papas fritas y las papas deshidratadas son algo menos susceptibles al pardeamiento (Ullah *et al.*, 2014).

La respiración es otro factor importante que contribuye a las pérdidas posteriores a la cosecha, que convierte el azúcar almacenado en energía en presencia de un sustrato de oxígeno, por lo tanto, avanza la senescencia. Aunque esta función es necesaria para la continuación del crecimiento y desarrollo de las papas incluso después de la cosecha, tiene algunos efectos indeseables en la calidad de las papas. Respiración aeróbica (conversión de azúcares en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en presencia de O<sub>2</sub>) hace que los tubérculos sean perecederos y la respiración anaeróbica (conversión de azúcares de hexosa en alcohol y CO<sub>2</sub> en ausencia de O<sub>2</sub>) usualmente conduce a la producción de malos sabores y olores, ambos promueven pérdidas de papa (Nourian *et al.*, 2003).

#### **1.1.5.1 Deterioro durante el almacenamiento**

Los daños fisiológicos y bioquímicos se dan principalmente después de la recolección, generalmente en el almacenamiento. Algunos de estos daños son

ocasionados por luz, ausencia de oxígeno y calor o frío excesivo. Estos daños son importantes porque reducen el valor de comercialización del tubérculo.

Por ejemplo, una temperatura excesiva y con luz ocasiona en el tubérculo una coloración verdosa por el aumento del contenido de clorofila y de glicoalcaloides.

#### **1.1.5.2 Degradación de almidón**

En los tubérculos de papas almacenados ocurre una perfecta conversión de almidón en azúcar y de azúcar en almidón. Estas conversiones se llevan a cabo mediante la acción enzimática, la cual es controlada por la temperatura (Martínez y Alemán, 2006). El almacenamiento de tubérculos a bajas temperaturas (por debajo de los 4 °C) induce a aumentar los azúcares (Moreno *et al.*, 2007). A temperaturas normales de refrigeración (2 - 6 °C), los almidones que contienen se convierten para producir altos niveles de azúcares reductores (CAMAGRO, 2005). La glucosa y la fructosa son considerados azúcares reductores. Tienen una influencia significativa en la elaboración de productos fritos porque influyen directamente en la formación de color y del sabor de los mismos. Si el contenido en azúcares reductores es alto, aparece un producto con color marrón y sabor amargo.

#### **1.1.5.3 Enverdecimiento**

El enverdecimiento de los tubérculos es un desorden que ocurre cuando son expuestos a la luz. La exposición a la luz brillante durante el manejo de postcosecha, o períodos más largos (1 a 2 semanas) con luz de baja intensidad, puede resultar en el desarrollo de clorofila en el tubérculo de la papa. Asociado con el reverdecimiento, se producen glicoalcaloides amargos y tóxicos tales como la solanina y chaconina. La solanina también es producida en respuesta a golpes, heridas y durante la brotación. Los glicoalcaloides son estables al calor y son mínimamente afectados por el cocinado (CAMAGRO, 2005).

#### 1.1.5.4 Desórdenes fisiológicos

Debido a que los tubérculos son organismos vivos, las pérdidas fisiológicas se producen por la exposición a temperaturas extremas, por la respiración natural de la materia seca, y por las pérdidas de agua por transpiración. La magnitud de las pérdidas depende del ambiente de almacenamiento, pero siempre será mayor en aquellos tubérculos dañados y enfermos, que en los completamente sanos. El daño fisiológico puede ocurrir por la exposición de los tubérculos a altas o bajas temperaturas antes, durante o después del almacenamiento (Booth y Shaw, 1990).

**Centro negro.** El ennegrecimiento del centro del tubérculo, es consecuencia de una deficiencia aguda de oxígeno asociada a temperaturas bajas en almacenamiento cerrado o a temperaturas altas del suelo en el campo. Posteriormente los tubérculos afectados se pudren.

**Mancha negra.** Responsable de significativas pérdidas en postcosecha, particularmente en respuesta a la sobrefertilización con nitrógeno, baja disponibilidad de potasio, riego irregular y otras prácticas. Compuestos incoloros se forman en el tejido vascular justo debajo de la piel durante el almacenamiento. Después de un daño severo o corte, el tejido afectado se torna rojizo, luego llega a ser azul y tras 24 a 72 h cambia a negro. La severidad se incrementa con el tiempo. Las variedades difieren significativamente en la susceptibilidad y manifestación de los síntomas (CAMAGRO, 2005).

**Mancha parada interna.** Sectores o manchas de color negro o pardo-rojizo de textura corchosa y seca. Decoloración justo por debajo de la capa interna de la superficie, la cual es resultado de golpes y manejo rudo (Suslow y Voss, 2009).

El manejo irregular del riego y/o amplias fluctuaciones de la temperatura inducen la deficiencia en la adsorción del calcio, usualmente en el desarrollo temprano del tubérculo. Una disponibilidad de agua irregular puede también resultar en corazón hueco, una cavidad corchosa en el centro del tubérculo (CAMAGRO, 2005).

#### **1.1.5.5 Daños por frío**

En cuanto a los daños por frío, estos se manifiestan de diversas formas. Algunas de estas afectaciones son las picaduras, lesiones superficiales, ruptura del tejido y pérdida de agua, oscurecimiento interno de la pulpa y desordenes en el proceso de maduración. Estos daños inician cuando los tubérculos son almacenados a temperaturas menores a 4 °C (Barreiro y Sandoval, 2006).

El almacenamiento a temperaturas cercanas a 0 °C por unas pocas semanas puede resultar en una decoloración caoba del tejido interno en algunas variedades.

La refrigeración de papas no es recomendada porque son sensibles al daño por frío. A temperaturas normales de refrigeración (2 - 6°C), los almidones que contienen se convierten para producir altos niveles de azúcar. Estas azúcares ocasionarán que las papas se tornen de color café muy rápidamente cuando se fríen. Cuando los tubérculos se descongelan, se vuelven blandos, esponjosos y les sale agua por las lesiones y los ojos. Los cortes transversales se vuelven rosados, posteriormente se tornan oscuros (CAMAGRO, 2005).

#### **1.1.5.6 Enzimas responsables del deterioro**

En los vegetales, en especial en el corte de tubérculos puede resultar en cambios de color y sabor durante el almacenamiento, debido a acción de la enzima peroxidasa (POD) y polifenolxidasa (PPO). El mecanismo de color dorado se intensifica después del corte, con la ruptura celular se conduce a la interacción entre sustratos polifenólicos y enzimas en presencia de oxígeno. El PPO cataliza dos reacciones: 1) hidroxilación de monofenoles a difenoles, y 2) oxidación de difenoles a quinonas. La actividad de la enzima POD puede ser parcialmente responsable de las reacciones de oscurecimiento que se produce en los tubérculos (Lima *et al.*, 2016).

La inactivación de las enzimas peroxidasas y polifenoloxidasa es necesaria para mantener la calidad de los tubérculos debido a reacciones de pardeamiento enzimático en los alimentos. La inactivación de la peroxidasa puede indicar el grado de escaldado en vegetales, ya que el escaldado se utiliza para inactivar enzimas que causan el oscurecimiento de tejidos vegetales (Lima *et al.*, 2016).

## **1.2 Conservación de alimentos a baja temperatura**

### **1.2.1 Congelación de alimentos**

La congelación involucra el descenso de la temperatura de un sistema, debajo de su punto inicial de congelación, convirtiendo el agua en hielo por la eliminación de calor latente, el cual está asociado al cambio de fase (Nicoletti, 2012).

La congelación es considerada como un método eficiente para la preservación de los alimentos a largo plazo, no solo por el efecto de las bajas temperaturas en las reacciones químicas y en el crecimiento microbiológico, también por el descenso de la actividad de agua (Nicoletti, 2012).

La eficiencia de los métodos de congelación y de almacenamiento tiene un alto impacto en las propiedades organolépticas de los productos tras la descongelación (Agoulon, 2012).

#### **1.2.1.1 Crecimiento del cristal de hielo**

El proceso de congelación incluye dos pasos sucesivos: la formación de los cristales de hielo y el subsecuente aumento en el tamaño del cristal de hielo (Nicoletti, 2012).

**Nucleación:** La nucleación es el reacomodo de las moléculas de agua en una partícula ordenada con un tamaño suficiente para sobrevivir y servir como sitio para promover el crecimiento del cristal. Es decir que aparecen núcleos de hielo o

agentes iniciadores para que la fase cristalina se desarrolle; para que esto ocurra es necesario el subenfriamiento del sistema, ya que se requiere superar una barrera de energía que acompaña a la formación de la nueva fase. En la superficie del cristal existe un intercambio de moléculas entre la fase líquida y sólida. Durante este proceso se libera calor latente de solidificación. La velocidad a la cual se lleva a cabo la nucleación depende de la temperatura del medio de congelación, la viscosidad del medio y el volumen de la muestra (Nicoletti, 2012).

Debido a la presencia de solutos la nucleación puede ser homogénea o heterogénea. La homogénea se produce en agua libre de impurezas. En la heterogénea las moléculas de agua se aglomeran alrededor de una material insoluble, reduciendo la energía necesaria para formar el núcleo y reduciendo el grado de subenfriamiento (Orrego, 2008).

**Crecimiento de cristales:** El crecimiento cristalino requiere que las moléculas de agua puedan difundirse hasta la superficie de los núcleos cristalinos (Orrego, 2008). A medida que se forman dichos núcleos estables las moléculas se adicionan en la interfase sólido líquido. El tamaño y número de cristales formados depende de la velocidad de nucleación. Con altos grados de subenfriamiento, los cuales se obtienen con velocidades altas de congelación, la velocidad de nucleación es mayor que la de crecimiento de cristal, formándose varios núcleos en los que se distribuye el hielo en numerosos y pequeños cristales. A bajas velocidades de congelación los núcleos son pocos y los cristales suelen ser grandes. Por otra parte, el tamaño de los cristales está íntimamente relacionado con el número de núcleos de cristalización existentes. Pocos núcleos originan pocos cristales, pero grandes; muchos núcleos originan muchos cristales, pero más pequeños (Muños, 1995).

### 1.2.1.2. Curva de congelación

La representación esquemática de la cinética de congelación es la curva de congelación. Esta cinética influye en las características y el crecimiento de los cristales de hielo, su tamaño y distribución está en función de la cinética de congelación (Agoulon, 2012).

En la Figura 3 se muestran los dos tipos de cinéticas de congelación existentes, en la Figura 3a se observa la cinética de congelación del agua en condiciones ideales a 1 atm de presión y libre de impurezas; como primer paso se reduce la temperatura sin que se formen cristales, lo que se conoce como subenfriamiento (A), para iniciar la cristalización del agua es necesario que exista un estímulo, es decir que se alcance una masa crítica de nucleación (B), cuando esto ocurre la temperatura aumenta hasta 0°C, debido a la liberación de calor latente, después, del subenfriamiento y representa el inicio de la cristalización del hielo. Cuando se alcanza el punto inicial de congelación, la temperatura se mantiene constante (C) debido a que el agua y el hielo se encuentran en equilibrio hasta que toda el agua se congela. Después de que el agua se ha congelado la temperatura disminuye hasta que se aproxima a la temperatura de la atmósfera de congelación (D).

En el caso de las soluciones, Figura 3b, la cinética es diferente a la del agua, debido a la presencia de solutos que modifican la nucleación y el crecimiento de los cristales. El subenfriamiento (A') es menor al del agua debido a que los solutos promueven una nucleación heterogénea. El punto inicial de congelación es menor al del agua, ya que los solutos reducen el número de moléculas de agua disponibles para que se lleve a cabo la transición líquido-sólido; lo cual se relaciona con las propiedades coligativas que dependen de la concentración del soluto. Una vez que se alcanza el punto inicial de congelación, la temperatura sigue disminuyendo a medida que la solución se congela y se separa más agua (C') debido a la concentración de los solutos que deprimen aún más, el punto de congelación. Ya que el agua disponible se cristalizó, la solución saturada puede

experimentar una transición vítrea ( $D'$ ) y después el sistema sólido puede o no continuar enfriándose ( $E$ ) dependiendo de las condiciones del proceso al que se someta.

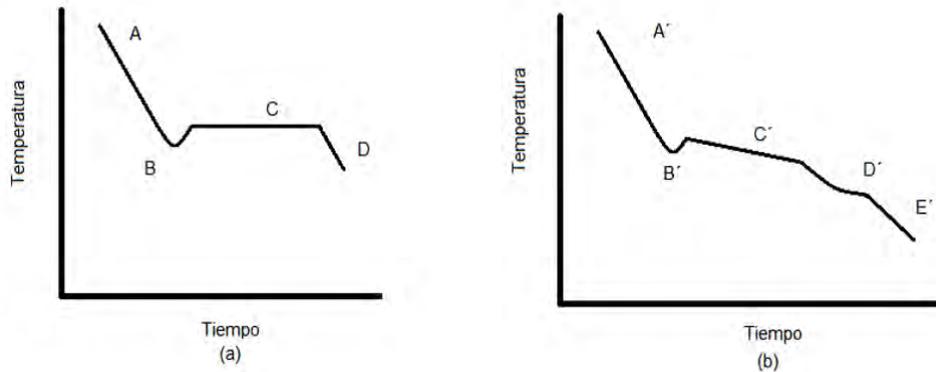


Figura 3. Cinética de congelación (a) agua pura y (b) solución acuosa (Singh y Heldman, 1984)

La velocidad de congelación para un producto, es el cociente de la diferencia entre temperatura inicial y temperatura final entre la duración de la congelación (Villanueva, 1990), y valores de velocidad superiores a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  suponen una congelación rápida; valores inferiores a  $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  una congelación lenta.

La velocidad de congelación es uno de los principales factores que afecta la calidad de los alimentos, ya que determina el tamaño de los cristales de hielo y durante el almacenamiento, estos cristales de hielo crecen y causan daños en las células por alteración de las membranas, paredes celulares, y la estructura interna de los alimentos de modo que cuando se descongela, el producto es diferente del original en textura y sabor. Cuando mayor sea la velocidad de congelación, mayor es la nucleación, y por lo tanto mayor es el número de cristales más pequeños (Chattopadhyay, 2014).

En general son comunes los reportes de velocidad de congelación en  $^{\circ}\text{C}$  o  $\text{K}/\text{min}$ . Otra forma de expresar la rapidez de la congelación es por medio de la velocidad a la que se desplaza el frente de hielo a través del producto ( $\text{cm}/\text{h}$ ). Esta es mayor cerca de superficie que hacia el centro.

## 1.3 Crioprotectores

### 1.3.1 Importancia

La congelación y descongelación de los alimentos puede tener un efecto perjudicial en las propiedades sensoriales y la capacidad de retención de agua, como resultado de una ruptura de las células o de los componentes celulares o cambios en la estructura de ciertas macromoléculas (Downey, 2003).

Para minimizar los daños causados por dichos procesos se han utilizado crioprotectores (Fernández *et al.*, 2008), los cuales son componentes que interactúan con el agua, disminuyendo la velocidad de crecimiento de cristal de hielo y alterando su forma, mejorando la calidad y alargando la duración de los alimentos congelados.

El término crioprotector incluye todos los compuestos que contribuyen a prevenir los cambios perjudiciales en los alimentos causados por los procesos de congelación y descongelación o el almacenamiento en congelación. Estas sustancias pueden añadirse durante el procesamiento y en la formulación del producto o producirse de forma natural en organismos vivos de los cuales derivan los alimentos (Erickson y Hung, 1997).

En el caso de los alimentos procesados, en los cuales el mezclado con el crioprotector es posible, la función consiste en estabilizar un componente, el cual es un biopolímero. Para los alimentos con estructura celular como lo son las frutas, verduras y carnes, la crioprotección consiste en estabilizar la estructura, esto se logra controlando el movimiento del agua para prevenir el colapso celular.

Como crioprotectores se cuenta con muchos compuestos, algunos de éstos son: azúcares, aminoácidos, polioles, metilaminas, polímeros de carbohidratos,

polímeros sintéticos (polietilenglicol), proteínas (albúmina sérica), y algunas sales inorgánicas (fosfato de potasio y sulfato de amonio) (Erickson y Hung, 1997).

### **1.3.2 Polímeros como crioprotectores en alimentos**

La funcionalidad de los biopolímeros es variada, ya que poseen características únicas debidas a su estructura molecular. La presencia de grupos polares y no polares los hace capaces de establecer interacciones y controlar la reología y la textura de los sistemas acuosos mediante la estabilización de las emulsiones, suspensiones y espumas (Semenova, 2007).

Los hidrocoloides y las proteínas son dos tipos de biopolímeros que pueden afectar la cristalización del hielo (Dickinson, 1998). Los biopolímeros son capaces de modificar la viscosidad del medio en el que se encuentran y de formar geles, cuya firmeza se ha asociado con la inhibición del crecimiento del cristal de hielo y al cambio en su morfología (Muhr, 1986). La velocidad de cristalización se reduce a medida que aumenta el tiempo de maduración del gel y su elasticidad. Por esta razón se puede decir que existe un traslape entre la crioprotección y otros tipo de estabilización de alimentos.

### **1.3.3 Fructanos de agave: Inulina**

Los fructanos constituyen los principales carbohidratos de reserva en algunas familias del reino vegetal, son polímeros de fructosa de cadena lineal unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$  (2,1) y  $\beta$  (2,6), sólo contienen un residuo de glucosa en el extremo reductor de la molécula y pueden alcanzar grados de polimerización hasta de 200 unidades de fructosa, lo cual depende de la fuente botánica así como de las condiciones agronómicas del cultivo y la edad de la planta (López *et al.*, 2003). Entre las principales fuentes potenciales de fructanos destacan los tubérculos de la planta de alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*), las raíces de la planta de achicoria (*Chicory intybus*), los tubérculos de la planta de

dalia (*Dahlia variabilis*) y las cabezas o piñas de las plantas del género *Agave* como el agave tequilero (*Agave Tequilana Weber Azul*), el cual se cultiva de manera intensiva en nuestro país en una superficie cercana a las 100 mil hectáreas (López *et al.*, 2003).

Los fructanos han estado presentes en la dieta humana durante miles de años, mediante el consumo de órganos vegetales en los que los polisacáridos se almacenan como sustancias de reserva (Leach, 2007). En muchas especies, los fructanos, permiten la tolerancia al frío, la sequía y las condiciones de estrés. Además, los fructanos se usan como ingredientes mejoradores de la consistencia y la textura para los productos alimenticios, reemplazando el almidón y la grasa, reduciendo así el contenido energético de los alimentos (Franck, 2002).

Basados en el enlace glicosídico entre sus unidades de fructuosa, los fructanos pueden dividirse en: inulinas, con enlaces  $\beta$  2-1; levanos, con enlaces  $\beta$  2-6; graminan, con ambos tipos de enlaces (Vereyken *et al.*, 2003).

Otra forma de clasificarlos es por la longitud de sus cadenas; cadenas largas (grados de polimerización mayores a 10) y cortas (con grados de polimerización de 3 a 10) comúnmente nombrados como fructoligosacáridos (Alvarado *et al.*, 2014).

Una fuente natural rica en fructanos son las plantas de agave. El *Agave Tequilana Weber Azul* es el más utilizado para la producción de jarabe y fructanos. Más de 80% en peso del contenido de carbohidratos en agave azul se origina de fructanos.

El *Agave Tequilana Weber Azul* es una planta que requiere de 7 a 10 años para su desarrollo y sus ciclos de cultivo se ven afectados por las condiciones ambientales, manejo y diferencias genéticas de las plantaciones. La planta del agave tequilero está conformada por dos partes principales que son: la cabeza o piña y las hojas. La cabeza representa la parte comercial de la planta y se utiliza como materia prima en el proceso de elaboración de tequila, principal bebida alcohólica mexicana de consumo mundial. El peso promedio de la cabeza del

agave va de 30 a 70 kg aunque se han obtenido cultivos cuyas cabezas han llegado a pesar entre 80 y 120 kg y dentro de estos, cabezas de hasta 150 kg y con un contenido de azúcares reductores totales que oscila entre 16 a 28% en peso fresco. Por su parte, las hojas o pencas constituyen los residuos agrícolas del cultivo, representan del 45 al 50% del peso total de la planta, miden de 90-120 cm de longitud y de 8 a 12 cm de ancho y su contenido de azúcares reductores totales oscila entre 3.3 a 16.1% en peso fresco, lo cual depende de la edad de la planta, las condiciones agronómicas del cultivo, y de la proximidad de las hojas hacia la cabeza o piña de la planta (Iñiguez *et al.*, 2001).

Los fructanos de agave tienen un grado estimado de polimerización de entre 3 a 30 unidades, su estructura molecular resulta una mezcla compleja de fructanos lineales tipo inulina con enlaces  $\beta$  (2-1), y ramificados: levanos con enlaces  $\beta$  (2-6).

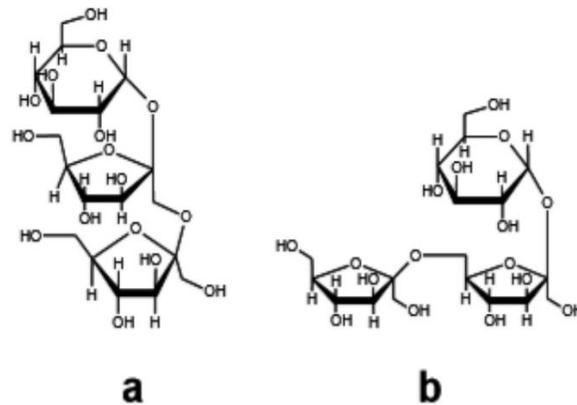


Figura 4. Unidades estructurales de fructanos de agave a) 1- kestosa (fructanos tipo inulina), b) 6- kestosa (fructanos tipo levan) (Toriz *et al.*, 2007).

Los posibles beneficios de los fructanos tipo inulina para la salud humana han sido estudiados desde hace más de una década. Se trata de una fibra alimentaria soluble que no puede ser digerida por los seres humanos. Los fructanos son considerados como alimentos funcionales, es decir, alimentos con efectos benéficos en la salud (Ritsema y Smeekens, 2003). Los fructanos promueven la resorción del calcio y por lo tanto podría ser útil en la prevención de la osteoporosis. Además, las concentraciones de insulina, colesterol, triglicéridos y

fosfolípidos se reducen en el suero sanguíneo como resultado de una dieta alta en fructanos (Ritsema y Smeekens, 2003).

Los fructanos pasan intactos a través del tracto digestivo sin ningún aporte calórico en la sangre (Niness, 1999) además, tienen propiedades prebióticas, ya que constituyen el sustrato específico del género de bacterias *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* del colon, que producen cambios que benefician la salud del huésped (Gibson y Roberfroid, 1995). Por lo tanto, el consumo de fructanos mejora el rendimiento del tracto digestivo, previene el estreñimiento, ayuda con la absorción de algunos minerales como el calcio y reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer de colon (Greg, 2009).

#### **1.4 Escaldado de la papa**

El escaldado se define como un tratamiento térmico cuyo fin es la estimulación (activación y/o inactivación) de las enzimas presentes en el tejido de las plantas. La actividad enzimática aparente se incrementa cuando aumenta la temperatura hasta alrededor de 50 °C, donde alcanza un nivel máximo conocido como la temperatura óptima para la acción enzimática. A temperaturas más altas se observa una considerable disminución en la actividad debido a la desnaturalización de su estructura proteínica.

En el escaldado de la papa se busca la inactivación de las enzimas que puedan ser perjudiciales en la calidad del producto final como la enzima polifenoloxidasas que es la responsable del pardeamiento en los tubérculos procesados. Esta reacción se genera cuando la enzima contenida en los cloroplastos entra en contacto con el oxígeno y los sustratos fenólicos contenidos principalmente en la corteza (alrededor del 50 %) y en los tejidos en donde la concentración disminuye desde la corteza hacia el centro (Limbo y Piergiovanni, 2006). El contacto se genera mediante ruptura de las membranas celulares y los organelos que contienen la enzima debido a procedimientos de postcosecha deficientes como

golpes, sometimiento del tubérculo a esfuerzos y a etapas del proceso como pelado, cortado o troceado, escaldado y cocción, entre otros.

Debido a la facilidad con la que se determina su actividad y por su estabilidad al calor comparada con otras enzimas, la peroxidasa es usada como indicador de la calidad de los tratamientos térmicos. Se acepta una disminución en su actividad superior al 90 % como control para un escaldado adecuado (Polata *et al.*, 2009).

Otro efecto de los procesos de escaldado es el cambio de textura que tiene el tubérculo debido principalmente a gelatinización de almidones y solubilización de sustancias pécticas, lo que produce pérdida de firmeza en el tejido (Abu-Ghannam y Vrowley, 2006). En el caso de la papa, esto puede conducir al rompimiento de la piel cuando los tubérculos se procesan enteros.

El proceso de escaldado generalmente se hace a temperaturas que oscilan entre 80 °C y 100 °C y tiempos entre 20 s y 15 min; sin embargo, se han reportado tratamientos entre 55 °C y 75 °C en los que se obtienen productos con alta firmeza debido a la menor separación celular que se genera; adicionalmente, se ha propuesto que la enzima metil-pectin-esterasa juega un rol importante en este fenómeno debido a que posibilita la formación de redes con iones calcio y magnesio (Liu y Scanlon, 2007).

Existen diversas técnicas de escaldado, por ejemplo:

#### **a) Escaldado ordinario**

El escaldado ordinario es una operación unitaria en el procesamiento de vegetales que consiste básicamente en la inmersión del vegetal en agua a temperatura de ebullición, durante un tiempo breve, con el fin de inactivar enzimas indeseables (Andersson *et al.*, 1994). Este tratamiento incrementa la estabilidad de los vegetales durante largos periodos de almacenamiento, cuando se congelan (Canet-Parreño, 1980) o se someten a otros procesos. El tiempo de escaldado a

temperatura de ebullición se establece de acuerdo con la estabilidad térmica de la enzima que se desea inactivar y el efecto que el calor ejerce sobre la textura del vegetal.

El calor aplicado durante el escaldado ordinario, generalmente ocasiona un ablandamiento de los tejidos. Además, el efecto del calor durante el escaldado, permite que exista una filtración de micronutrientes por solubilización, remoción de aire y alteraciones en el color del producto terminado (Brennan *et al.*, 1980). Para disminuir los efectos negativos de este tratamiento se han modificado las técnicas de escaldado.

### **b) Escaldado no ordinario**

Se han establecido algunos métodos para conservar la firmeza del producto durante su procesamiento métodos de escaldado que ocasionan menor pérdida de firmeza de los tejidos, como el escaldado a temperaturas altas por tiempos cortos (Brennan, 1980), escaldado con microondas microondas-vapor, radiaciones infrarrojas, vapor y radiofrecuencia, escaldado individual, escaldado por etapas y escaldado TB-TL que consiste básicamente en la inmersión del vegetal en agua a temperaturas menores a las de ebullición, durante un tiempo mayor al empleado en un escaldado ordinario.

Los métodos de escaldado no ordinarios han sido objeto de investigación durante los últimos años y se acepta que estos métodos ocasionan una pérdida de firmeza del vegetal menor que la obtenida durante el escaldado ordinario (Aguilar *et al.*, 1999).

## **1.5 Antioxidantes**

Un antioxidante es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano y que puede prevenir los efectos adversos de especies reactivas sobre las funciones fisiológicas normales de los humanos (Patthamakanokporn *et al.*,

2008). Generalmente, un antioxidante se puede definir como aquella sustancia natural o artificial con capacidad para neutralizar y proteger un sistema biológico frente a radicales libres, tales como los radicales de oxígeno, los de nitrógeno y los radicales lipídicos (Serra, 2007).

Los antioxidantes dentro de las células actúan como recolectores de radicales libres, donadores de hidrógeno, donadores de electrones, también descomponen peróxidos, consumen oxígeno singulete, inhiben enzimas, inducen enzimas, tiene efecto sinérgico y sirven como quelantes para metales (Srdic-Rajic, 2016).

Las propiedades antioxidantes no sólo deben estudiarse por sus interacciones químico-biológicas, sino por su función en el deterioro oxidativo que afecta a los alimentos (Pastene, 2009).

Se ha utilizado el ácido ascórbico como antioxidante en el procesado de alimentos, frutos, vegetales, carne, pescado, leche, grasas, aceites, harinas, bebidas no alcohólicas, cervezas, vinos y alimentos procesados.

El ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) tiene un peso molecular de 176,13 Da, es hidrosoluble y posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras. Tales propiedades se deben a su estructura enediol y a la posibilidad de ionizar el hidroxilo situado sobre el carbono 3, formando un anión que queda estabilizado por resonancia.

El ácido L-ascórbico (AA), comúnmente llamado vitamina C, es considerado uno de los más potentes agentes antioxidantes del organismo. Es una vitamina esencial, sintetizada químicamente a partir de glucosa, mediante una serie de reacciones catalizadas por enzimas, siendo la L-gulono- $\gamma$ -lactona oxidasa (GLO) la última enzima involucrada en su síntesis.

Entre sus propiedades químicas sobresale su fuerte poder reductor, es decir, la facilidad con que se oxida reversiblemente a ácido dehidroascórbico (Maestro y Borja, 1993).

En los sistemas a los que se añade ácido ascórbico como antioxidante alimentario, son muy importantes las siguientes reacciones:

- Secuestro de varias formas de oxígeno (oxígeno singulete, radical hidroxilo y superoxide).
- Reducción de radicales libres, frenando las reacciones en cadena y previniendo daños en los alimentos.
- Reducción de los radicales antioxidantes primarios, actuando así como sinergista de éstos.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

### **2.1 Problema y justificación**

El efecto principal que la congelación lenta ocasiona sobre los alimentos es el daño que provoca en las células el crecimiento de los cristales de hielo. En esta congelación, los cristales de hielo crecen en los espacios extracelulares, lo que deforma y rompe las paredes de las células que los contactan. La pérdida de textura es una problemática que presentan hortalizas como la papa al pasar por un proceso de congelación. La papa tiene una estructura celular semirrígida, presenta menos resistencia a la expansión de los cristales de hielo, por lo que es más susceptible a sufrir los daños de congelación y descongelación, se han planteado distintas alternativas para mejorar las condiciones de la congelación y evitar los cambios en el alimento debido al proceso. Una de estas opciones es la utilización de sustancias que tienen la capacidad de interactuar con los componentes del alimento para modificar la forma en que se da el crecimiento de cristales, por ejemplo la inulina, polisacárido que disminuye la velocidad de crecimiento del cristal de hielo, mejorando la calidad y alargando la conservación de los alimentos congelados.

Considerando lo anterior, el presente trabajo presenta la posibilidad de que la inulina de agave actuando como crioprotector pueda prevenir los daños por el proceso de congelación, si se incorpora a un alimento como la papa, disminuyendo los daños por el crecimiento de cristales.

## **2.2 Objetivo general y particulares**

Objetivo general:

Evaluar el efecto crioprotector de inulina de agave durante el postescaldado de papa en cubos, determinando su influencia sobre la velocidad y tiempo de congelación, así como el cambio de propiedades fisicoquímicas, enzimáticas y texturales en postcogelación que se correlacionen con la estabilidad del producto congelado.

Objetivos particulares:

1. Establecer el efecto de la aplicación de inulina de agave en postescaldado de papa en cubos, correlacionado su efecto crioprotector y su influencia sobre los cambios texturales y microscópicos que permitan la obtención de un producto estable al almacenamiento congelado.
2. Analizar el efecto de la absorción de inulina de agave aplicada en postescaldado de papa en cubos sobre la velocidad y abatimiento del punto inicial de congelación determinando su efectividad sobre la estabilidad del producto en congelación.
3. Determinar los cambios de color, pH y pérdida de peso en papa en cubos en relación con la absorción de inulina en postescaldado relacionándolo con la efectividad del tratamiento en postcogelación.
4. Evaluar los cambios en actividad peroxidasa y fenoles totales que se correlacionen con la estabilidad de papa en cubos tratada con inulina de agave en postescaldado y que permitan la determinación de la efectividad de los tratamientos en postcogelación.

## 2.3 Selección de variables

En la Tabla 3 se especifican los factores y niveles de variación considerados en la etapa experimental en relación con los parámetros de importancia en el proceso escaldado y congelación del producto.

Tabla 3. Factores y niveles de variación en la congelación de papa postescaldada

Variable independiente		Nivele de variación	N. de replicas	Variable dependiente	Técnica o instrumento de medición
<b>Incorporación de inulina de agave durante el postescaldado de papa en cubos</b>	Tratamiento 1 Ac. Ascórbico 0.25 %	Infiltración por aspersion	3	Color	Agrocolorímetro <i>Apollinaire</i>
	Tratamiento 2 Ac. Ascórbico 0.5 %			pH	Potenciómetro (HI 213)
				Pérdida de peso	Balanza (Ohaus $\pm 0.001$ g)
				Análisis de Perfil de Textura 2 ciclos de compresión	Texturómetro <i>Brookfield</i> (CT3)
	Tratamiento 3 Ac. Ascórbico 0.25 % e Inulina 2 %	Infiltración por inmersión		Prueba de punción (firmeza) APT	Texturómetro <i>Brookfield</i> (CT3)
				Concentración de fenoles totales	Folin – Ciocalteu (Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS)
				Tamaño de cristal	Microscopio digital <i>celestro</i> n
				POD	Método colorimétrico con guayacol Folin – Ciocalteu (Espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS)

## 2.4 Diseño experimental

La Tabla 4, muestra el diseño factorial  $3^k$ , empleado para establecer la influencia de los factores sobre las variables de respuesta consideradas en relación con el pretratamiento con ácido ascórbico, tratamiento postescaldado con inulina y el choque térmico. Las condiciones de escaldado fueron constantes para todas las

muestras (85 °C/6 min), además el agua de enfriamiento también tuvo una temperatura constante de 8 °C. Todas las corridas experimentales se realizaron por triplicado.

Tabla 4. Diseño factorial 3<sup>k</sup>

	Pretratamiento Con ácido ascórbico (g)	Tratamiento postescaldado (inulina 12 g)	Infiltración
Lote 1	0	0	Inmersión
Lote 2			
Lote 3			
Lote 4	0	0	Aspersión
Lote 5			
Lote 6			
Lote 7	0.25 %	0	Inmersión
Lote 8			
Lote 9			
Lote 10	0.25 %	0	Aspersión
Lote 11			
Lote 12			
Lote 13	0.5 %	0	Inmersión
Lote 14			
Lote 15			
Lote 16	0.5 %	0	Aspersión
Lote 17			
Lote 18			
Lote 19	0.5 %	2 %	Inmersión
Lote 20			
Lote 21			
Lote 22	0.5 %	2 %	Aspersión
Lote 22			
Lote 24			

Para analizar los cambios que se manifiestan en la papa durante el almacenamiento en congelación, se realizaron 24 muestras que tuvieron un tiempo de congelación de 24 h, 24 muestras con un tiempo de congelación de 24

h y 15 días de almacenamiento y 24 muestras congeladas durante 24 h y almacenadas por un mes. El análisis estadístico se realizó con el software Minitab v. 18.0

## **2.5 Actividades preliminares**

### **2.5.1 Acondicionamiento de congeladores**

Previo a la congelación de la papa cortada se realizó la caracterización de las cámaras de congelación ubicadas en el laboratorio L-16: Procesos de transformación y tecnologías emergentes ubicado en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4, con la finalidad de conocer y establecer las condiciones de trabajo mediante el monitoreo de la temperatura, la Figura 5 muestra las características de la cámara de almacenamiento tipo baúl y en la Tabla 5, se muestran las especificaciones técnicas.

En la Figura 5 y 6, se esquematizan los puntos donde se llevó a cabo la medición de temperaturas, considerando 6 posiciones, promediándose la temperatura con la finalidad de establecer las condiciones de la cámara de congelación y de almacenamiento. El monitoreo de la temperatura se realizó empleando un termopar digital (termohigrómetro) marca *Data logger Lascar* modelo EL-USB-TC y termómetro láser.



Figura 5. Cámara de almacenamiento

Tabla 5. Especificaciones técnicas de las cámaras de congelación y almacenamiento

Característica	Cámara de almacenamiento	Cámara de congelación
Marca	Nieto	Frigidaire
Modelo	CPCIS	FFC0923DW4
Capacidad	400 L	200 L
Medidas externas (cm)		
Largo	130.5	104
Ancho	65.0	55.0
Alto	81.5	86.5
Medidas internas (cm)		
Largo	119.0	91.0
Ancho	53.0	40.5
Alto	74.8	73

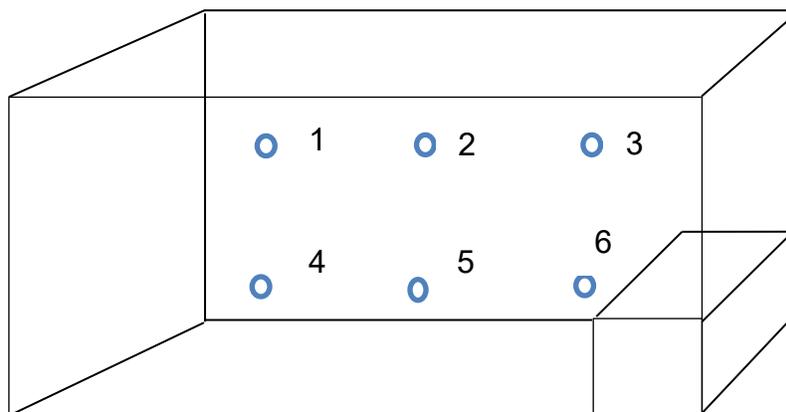


Figura 6. Temperaturas por zonas de la cámara de almacenamiento

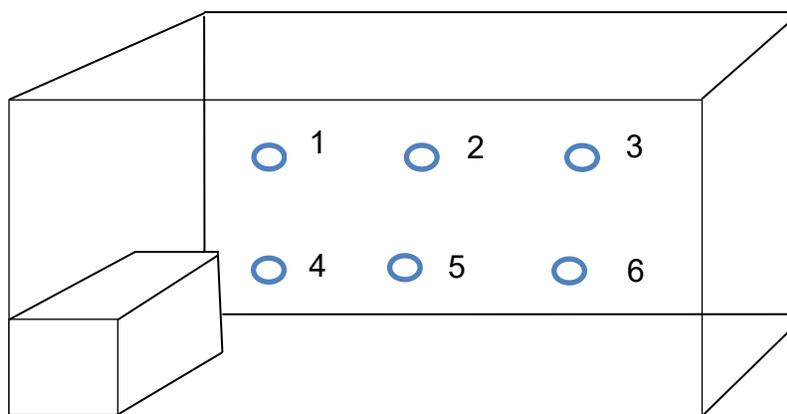


Figura 7. Temperaturas por zonas de la cámara de congelación

### **2.5.2 Acondicionamiento de equipo de escaldado**

Previo al escaldado de papa cortada se realizó el acondicionamiento del equipo ubicado en el laboratorio L-16, con la finalidad de conocer y establecer las condiciones de trabajo mediante el monitoreo de la temperatura.

Se estableció la temperatura de escaldado a 85 °C, y la temperatura de agua helada a 8 °C. Se fijó un tiempo de escaldado de 6 min y el choque térmico con agua helada tiene una duración de 5 min y se realizó por medio de inmersión o aspersión con ayuda de microaspersores con lo que contaba el equipo.

### **2.5.3 Selección de materia prima**

Un lote de papa Alpha se adquirió en el mercado de Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México, las papas se seleccionaron con base en su tamaño, color, llenado homogéneo, libre de podredumbre, daño mecánico o fisiológico visible.

Las papas se lavaron, desinfectaron y cortaron en forma cubica (1 x 1 x 1) cm.

### **2.5.4 Elaboración de disoluciones**

La preparación de las dispersiones se llevó a cabo con inulina de agave como agente crioprotector en una concentración al 2 % y ácido ascórbico como agente antioxidante al 0.25 % y 0.5 %. Dichas disoluciones se colocaron en el tanque de enfriamiento del equipo de escaldado para alcanzar una temperatura de 8 °C y aplicar los tratamientos por aspersión en inmersión.

### **2.5.5 Selección de material de envase**

Fue seleccionado polietileno de alta densidad como material de envase y se elaboraron las bolsas para envasado con ayuda de un sellador térmico. Las

medidas del envase fueron 15.5 cm de largo por 12.5 cm de ancho y un espacio libre de cabeza de 4 cm, la Figura 8 muestra el tamaño de los envases.

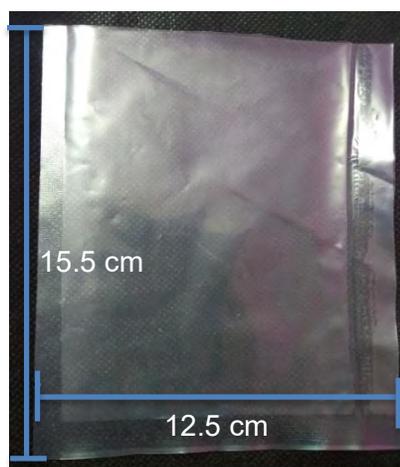


Figura 8. Envase de polietileno de alta densidad

## 2.6 Actividades experimentales

### 2.6.1. Descripción del diagrama de proceso

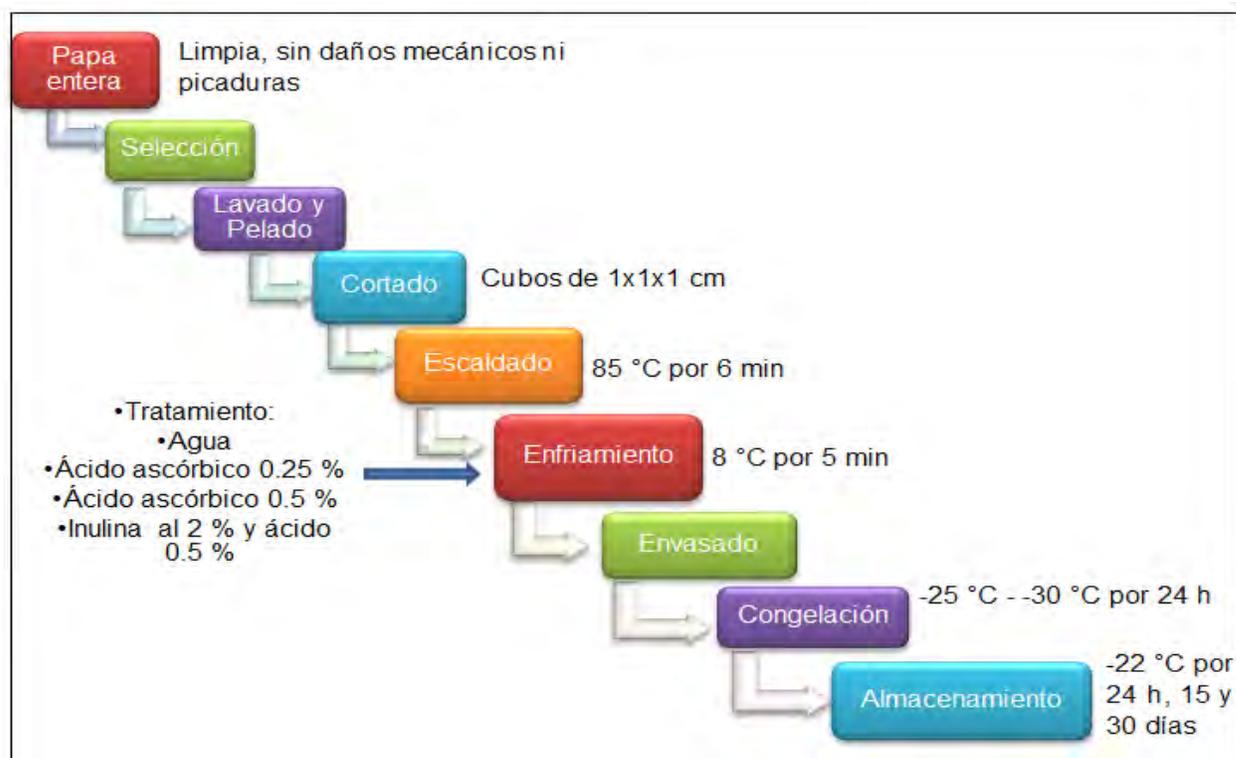


Figura 9. Diagrama de proceso

**Selección.** Las papas fueron seleccionadas con base en su tamaño, color, libre de podredumbre, daño mecánico o fisiológico visible. Se separaron las papas que no tenían el grado de madurez adecuado.

**Lavado.** Se realizó para eliminar bacterias superficiales, residuos de insecticidas y suciedad adherida a la papa. Se lavaron las papas con agua y jabón.

**Pelado.** La eliminación de la cáscara facilita el escaldado. El pelado se llevó a cabo de forma manual con un pelador eliminando la cáscara y eliminando las yemas, dejándola libre de impurezas.

**Cortado.** Las papas peladas fueron cortadas en forma cúbica con ayuda del cortador *super slicer* (Figura 10) con la finalidad de obtener cubos de 1 x 1 x 1 cm, tal y como se muestra en la Figura 11.



Figura 10. Cortador *super slicer*



Figura 11. Papa cortada en cubos

**Escaldado.** Las muestras de papa cortada fueron escaldadas durante un tiempo constante de 6 min a una temperatura de 85 °C. El escaldado se llevó a cabo en un equipo que cuenta con una resistencia eléctrica y un termostato de temperatura que permitió establecer la temperatura requerida. Las papas cortadas fueron sumergidas en agua. En la Figura 12 se muestra el método que se utilizó para escaldar las muestras. Con este proceso se consigue bloquear la actividad de las polinefol oxidasas, responsables del pardeamiento enzimático; eliminar por difusión los azúcares reductores situados en las superficies de los trozos de papa.



Figura 12. Escaldado de papa

**Enfriamiento.** Una vez que las muestras fueron escaldadas, se aplicaron los diferentes tratamientos con las disoluciones de ácido ascórbico a diferentes concentraciones y la combinación de inulina de agave con ácido ascórbico, dichas dispersiones se encontraban a 8 °C, con la finalidad de producir choque térmico y eliminar el calor absorbido por la papa durante el escaldado. El tiempo de enfriamiento fue de 5 min. Los diversos tratamientos fueron aplicados con ayuda del mismo equipo de escaldado, ya que éste contaba con una unidad, recipiente y termostato de enfriamiento. Los métodos de enfriamiento fueron dos: inmersión de las papas en las disoluciones y por aspersion con ayuda de microaspersores con los que el equipo contaba.

**Envasado.** Posterior al enfriamiento de las papas, se pesaron 80 g de muestra y se envasó en bolsas de polietileno de alta densidad con capacidad para 100 g de muestra (Figura 13), y se realizó un sellado térmico tal y como se muestra en la Figura 14.



Figura 13. Papa envasada



Figura 14. Sellado térmico

**Congelación de papa.** Las muestras una vez envasados se colocaron en la cámara de congelación con una temperatura promedio de  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 h. Las curvas de congelación se obtuvieron mediante el registro del cambio de temperatura en función del tiempo, empleando un termohigrómetro digital *Data logger* modelo EL-USB-TC, el cual fue programado con el software *EasyLog USB*. Para iniciar la experimentación se penetró la papa con el elemento sensor hasta su centro como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Elemento sensor en centro de la papa

El registro se inició desde la temperatura ambiente y las lecturas fueron tomadas cada 20 min durante las 24 h del proceso de congelación. Las tomas de

temperatura se realizaron por triplicado y los datos obtenidos fueron graficados con el programa *Data Logger* y mediante el análisis de las curvas de las gráficas se determinó el punto de congelación.

**Almacenamiento en congelación de papa.** Después de 24 h de congelación, las muestras fueron retiradas de la cámara de congelación y fueron llevadas a la cámara de almacenamiento con una temperatura de  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El tiempo de almacenamiento fue de 30 días para 24 lotes y de 15 días para otros 24 lotes. También en 24 lotes sólo se llevó a cabo la congelación por 24 h sin almacenamiento. El registro de temperaturas se realizó con un termómetro *Hanna Cal Check* (Figura 16).



Figura 16. Termómetro *Hanna Cal Check*

### 2.6.2 Determinación de color

La variación en los cambios de color en las muestras con diferentes tiempos de almacenamiento se determinaron con un agrocromímetro marca *Apollinaire*, con el cual se obtuvieron valores en coordenadas *Rojo*, *Verde* y *Azul*, mismos que fueron convertidos a coordenadas *L a b* y así poder calcular parámetros como luminosidad, cromaticidad e índice de oscurecimiento.



Figura 17. Agrocólorímetro *Apollinaire*

### 2.6.3 Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se llevó a cabo por medio de una técnica espectrofotométrica con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, leyéndose los cambios en absorbancia y contrastándose con la curva la absorbancia y concentración de ácido gálico. Los resultados se reportaron como equivalentes de ácido gálico. Se utilizó un espectrofotómetro marca *Genesys* modelo 10S UV-VIS.



Figura 18. Espectrofotómetro *Genesys 10S UV-VIS*

### 2.6.4 Determinación de actividad peroxidasa

La actividad peroxidasa se determinó en un espectrofotómetro marca *Genesys* modelo 10S UV-VIS en el cual se determinó el cambio de color a razón de la oxidación del guayacol a través de la medición de la absorbancia. Se utilizó 100 mL de extracto enzimático. La adición de guayacol fue al 1 % el cual se oxidó

mostrando un cambio de color que fue medido por medio de la absorbancia a 470 nm.

### **2.6.5 Determinación de textura**

La evaluación de textura se realizó mediante pruebas de punción y análisis de perfil de textura (APT) en un texturómetro *Brookfield* modelo CT-3. En las pruebas de punción se utilizó un punzón TA35 (4 mm), una mesa estándar TA-BT-KIT, a una velocidad de 1 mm/s y se realizó una punción de 5 mm de profundidad. Para APT se utilizó una sonda TA4/1000, una velocidad de 1.5 mm/s y un valor meta de 4 mm



Figura 19. Texturómetro *Brookfield*

### **2.6.6 Determinación de microscopia digital**

Se realizó un análisis de imagen microscópica con un microscopio digital marca *Celestron*, con cámara digital incorporada de 2 megapíxeles y aumento de 10x a 40x (hasta 150x en algunos monitores), se obtuvieron micrografías de las muestras congeladas y se analizaron los cristales de hielo formados en la superficie de la papa.



Figura 20. Microscopio digital *Celestron*

### 2.6.7 Determinación de pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó con ayuda de una balanza digital con precisión ( $\pm 0.01$  g), se registró el peso inicial de la papa envasada antes de la congelación y posterior al almacenamiento durante los 15 y 30 días.



Figura 21. Balanza digital

### 2.6.8 Determinación de pH

La medición de pH se realizó por medio de un potenciómetro digital marca *Hanna*, el potenciómetro se calibró antes de cada muestreo.



Figura 22. Potenciómetro *Hanna*

## CAPITULO III. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1 Acondicionamiento de congeladores

Las Tablas 6 y 7 muestran el comportamiento de la temperatura en las paredes de las cámaras de congelación y del medio. Las temperaturas se registraron con un termómetro laser y un termómetro de inmersión *Hanna*. Las temperaturas del medio y del producto se controlaron mediante termopares de tipo K. La zona más fría para la cámara de congelación Frigidaire corresponde a la parte superior del compresor, por lo que en este punto fueron colocadas las muestras para su congelación.

Tabla 6. Temperaturas por zonas en la cámara de almacenamiento en congelación

<b>Punto pared trasera</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Promedio	-23.17 °C	-22.97 °C	-22.43 °C	-23.73 °C	-23.43 °C	-21.80 °C
Desviación	1.15	1.34	2.47	1.20	1.71	1.11
C.V	4.98	5.85	10.99	5.06	7.30	5.11
<b>Pared delantera</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Promedio	-25.30 °C	-23.37 °C	-23.30 °C	-23.47 °C	-21.63 °C	-21.70 °C
Desviación	0.72	2.25	1.35	1.78	1.22	1.54
C.V	2.85	9.63	5.81	7.58	5.65	7.09

La Tabla 6 muestra las temperaturas dentro de la cámara de almacenamiento, se realizó por triplicado la medición de las temperaturas en cada punto de la cámara, obteniéndose una máxima de -21.63 °C y una mínima de -25.30 °C, el producto se mantuvo envasado en bolsas de polietileno de alta densidad, impidiendo la influencia de la humedad relativa sobre las características finales del producto.

Tabla 7. Temperaturas por zonas de la cámara de congelación

<b>Punto pared trasera</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Promedio	-37.53 °C	-36.43 °C	-33.90 °C	-39.97 °C	-36.87 °C	-36.20 °C
Desviación	1.35	1.33	1.47	1.10	4.21	2.69
C.V	3.60	3.66	4.35	2.76	11.43	7.43
<b>Pared delantera</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Promedio	-35.97 °C	-34.00 °C	-34.07 °C	-36.90 °C	-37.33 °C	-34.43 °C
Desviación	0.81	0.50	0.06	0.56	1.01	1.11
C.V	2.25	1.47	0.17	1.51	2.70	3.21

La Tabla 7 muestra las temperaturas para las pruebas preliminares correspondientes al acondicionamiento de la cámara de almacenamiento, obteniéndose una temperatura mínima de -39.97 °C y una máxima de -33.90 °C, al obtener estos resultados se colocó el producto a diferentes distancias para, garantizando una correcta distribución de temperatura para llevar a cabo el almacenamiento.

### **3.2 Resultados de actividades experimentales**

#### **3.2.1 Pérdida de peso**

Los tejidos vegetales poseen una estructura celular semirrígida, y la estructura de su pared celular es menos elástica que la membrana celular, por lo que dichos

tejidos muestran menos resistencia a la expansión de los cristales de hielo en volumen, de modo que están expuestos a sufrir daño por los cristales de hielo formados en la congelación. Estos daños producidos en el tejido vegetal dan lugar a una transferencia permanente de agua intracelular al medio extracelular.

Durante la descongelación, la papa está sujeta a daños causados por cambios físicos. La humedad se separa fácilmente de la matriz del alimento y esta agua procedente de los cristales de hielo no vuelve a su localización inicial, dando lugar a un ablandamiento de la textura, exudado y a menudo, un deterioro inevitable de la calidad global (Rahman, 1999).

De acuerdo con el análisis estadístico realizado y lo observado en la Figura 23, no existió una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), sin embargo es importante destacar que el mayor porcentaje de pérdida de peso se presentó en las muestras que fueron tratadas con inulina como crioprotector, obteniéndose valores contrarios a los esperados. El daño provocado durante la congelación y la modificación en la estructura de la papa no es el único factor responsable de la pérdida de peso, otro factor importante durante el almacenamiento de las papas es el mantenimiento de la humedad relativa (Booth y Shaw, 1990).

En la Figura 23 se muestra claramente que el porcentaje de pérdida de peso se incrementa cuando se tiene un mayor tiempo de almacenamiento, siendo las muestra almacenadas 30 días las que presentaron mayor pérdida de peso durante la descongelación. Además, la pérdida de peso se ve afectada dependiendo si el tratamiento es aplicado por inmersión o aspersion. En todos los casos la pérdida de peso fue mayor cuando el tratamiento se realizó por inmersión, esto es debido a que durante la aplicación se presenta una mayor absorción de agua, misma que después es perdida

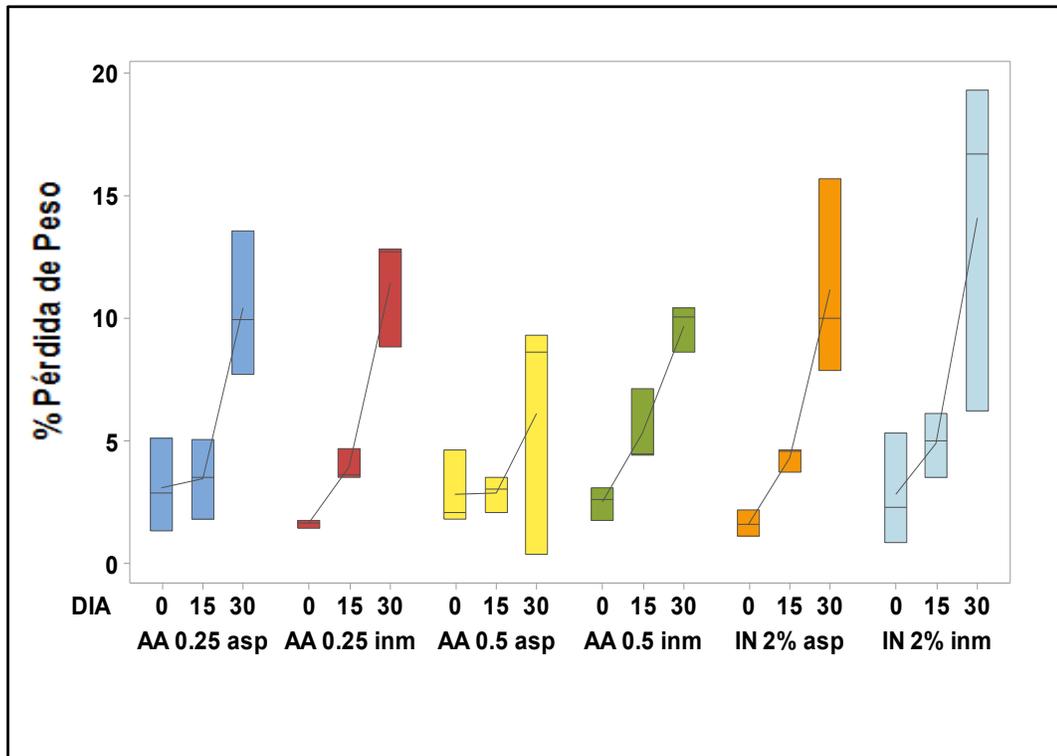


Figura 23. Pérdida de peso en cubos de papa almacenados en congelación. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

### 3.2.2 Velocidad de congelación

La Figura 24, representa las curvas de congelación correspondientes al proceso de enfriamiento por inmersión, en función a los diferentes tratamientos.

Es ampliamente aceptada la existencia de una estrecha correlación entre la calidad de los alimentos congelados y las rápidas velocidades de congelación. Cuando un tejido vegetal se congela lentamente, los cristales de hielo se forman inicialmente en los espacios intercelulares donde el vapor de agua se condensa dando lugar a los primeros núcleos de cristalización extracelulares (Reeve, 1970). A continuación, y debido al gradiente de presiones de vapor existentes entre la célula y estos cristales de hielo extracelulares, se produce una difusión del agua al exterior de la célula, que aumenta progresivamente el tamaño de los cristales.

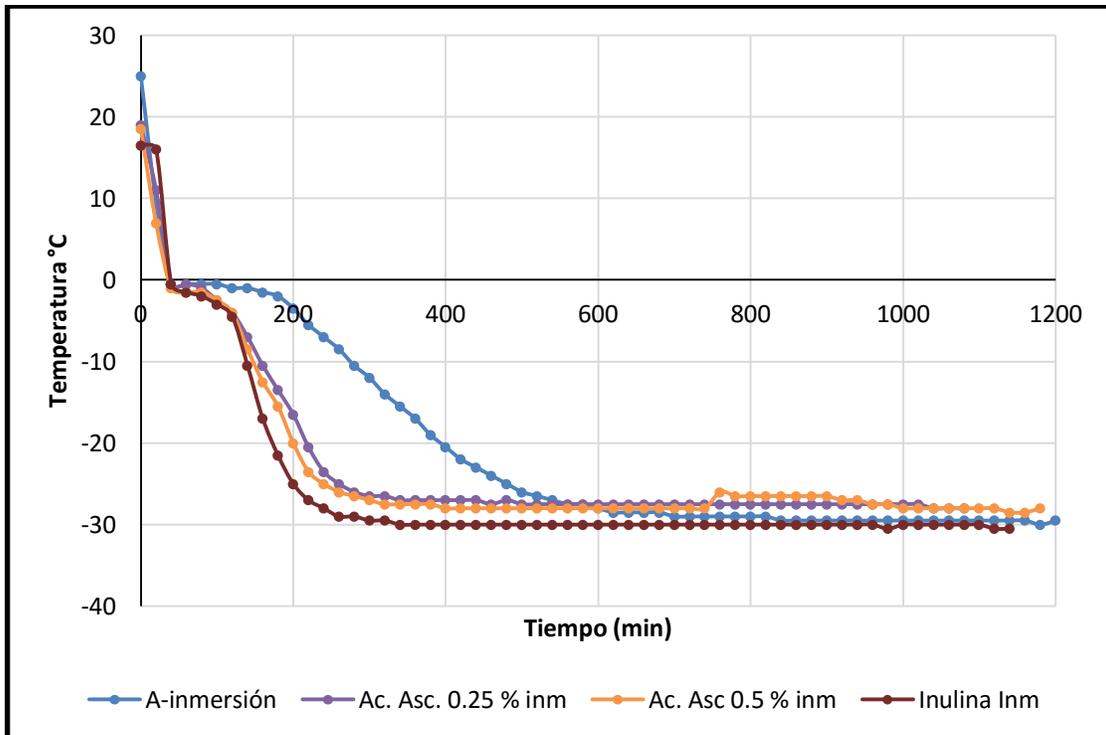


Figura 24. Curvas de congelación con diferentes tratamientos en papa cortada en cubos, previamente enfriados por inmersión.

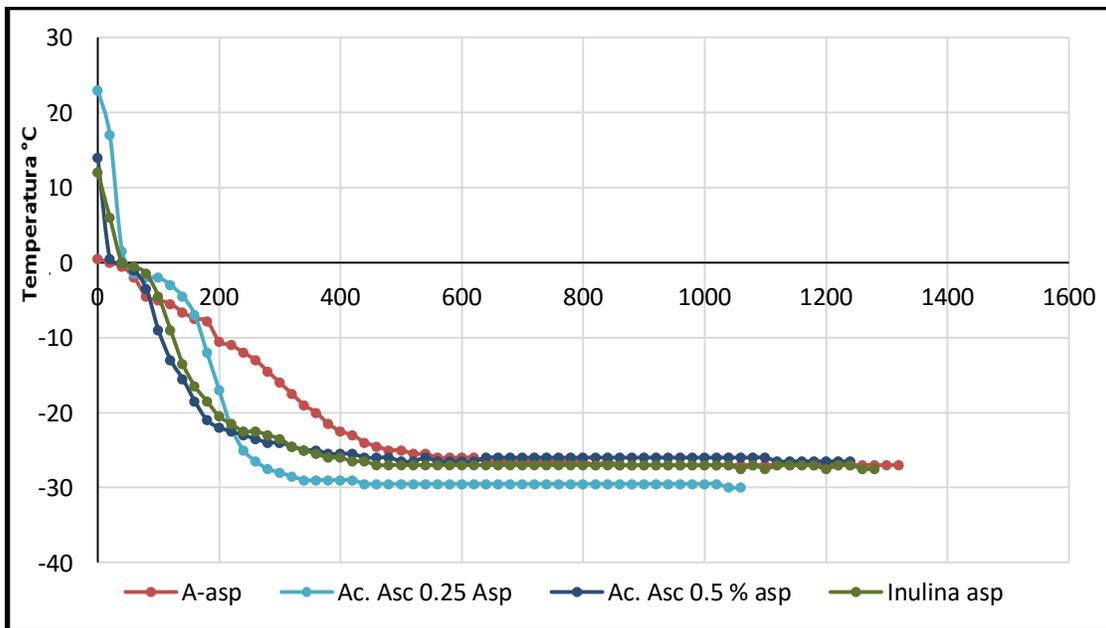


Figura 25. Curvas de congelación con diferentes tratamientos, previamente enfriados por aspersión.

Al comparar los dos métodos de aplicación se puede decir que la velocidad de congelación fue mayor cuando se llevó a cabo la aplicación de los tratamientos por aspersión, lo que implica que el crecimiento de los cristales de hielo sea menor.

Tabla 8. Parámetros de congelación de papa escaldada

Parámetro	Tratamiento	Resultado	Agrupación
<b>TIEMPO DE CONGELACIÓN (10 A -18 °C) (MIN)</b>	Agua inmersión	380 ± 14.14	B
	Ac. Asc 0.25 % inmersión	180 ± 42.42	C
	Ac. Asc 0.50 % inmersión	192.5 ± 3.53	C
	Inulina inmersión	162.5 ± 10.60	C
	Agua aspersión	532.5 ± 31.81	A
	Ac. Asc 0.25 % aspersión	182.5 ± 31.81	C
	Ac. Asc.0.50 % aspersión	157.5 ± 3.53	C
	Inulina aspersión	170 ± 7.07	C
<b>TIEMPO DE CONGELACIÓN (10 A -25 °C) (MIN)</b>	Agua inmersión	480 ± 0	A B
	Ac. Asc 0.25 % inmersión	230 ± 42.42	C
	Ac. Asc 0.50 % inmersión	230 ± 14.42	C
	Inulina inmersión	200 ± 0	C
	Agua aspersión	650 ± 70.71	A
	Ac. Asc 0.25 % aspersión	290 ± 70.71	C
	Ac. Asc. 0.5 % aspersión	290 ± 70.71	C
	Inulina aspersión	289 ± 84.85	B C
<b>TEMPERATURA INICIAL DE CONGELACIÓN (°C)</b>	Agua inmersión	-2.1	
	Ac. Asc 0.25 % inmersión	-4.5	
	Ac. Asc 0.50 % inmersión	-4.5	
	Inulina inmersión	-4.5	
	Agua aspersión	-3.5	
	Ac. Asc 0.25 % aspersión	-4.5	
	Ac. Asc. 0.5 % aspersión	-4.5	
	Inulina aspersión	-4.5	
<b>VELOCIDAD DE CONGELACIÓN (°C/min)</b>	Ac. Asc 0.25 % inmersión	0.113 ± 0.077	A
	Ac. Asc 0.50 % inmersión	0.127 ± 0.117	A
	Inulina inmersión	0.145 ± 0.105	A
	Ac. Asc 0.25 % aspersión	0.104 ± 0.102	A
	Ac. Asc. 0.5 % aspersión	0.088 ± 0.075	A
	Inulina aspersión	0.101 ± 0.100	A

Las medias que no comparten una letra (A, B, C) son significativamente diferentes. Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

En la Tabla 8, se muestran los parámetros de congelación del producto. Se realizó un análisis utilizando el método Tukey y una confianza del 95 %, en el caso del tiempo de congelación para una temperatura de 10 °C a -18 °C se reportó una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados. Para una temperatura de 10 °C a -25 °C no existe diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento de inulina aplicado por aspersión y en la prueba control realizada con agua aplicada por inmersión. Y en relación a la velocidad de congelación, presentó diferencias estadísticamente significativas en todos los tratamientos aplicados.

### **3.2.3 Evaluación de color**

Entre las diferentes clases de propiedades físicas de alimentos y productos alimenticios, el color se considera el atributo visual más importante en la percepción de la calidad del producto. El color de las papas es un criterio extremadamente importante para la industria de procesamiento de papas y está estrictamente relacionado con la percepción del consumidor (Scanlon, Roller, Mazza y Pritchard, 1994 ). Los consumidores tienden a asociar el color con el sabor, la seguridad, el tiempo de almacenamiento, la nutrición y el nivel de satisfacción debido a que se correlaciona bien con las evaluaciones físicas, químicas y sensoriales de la calidad de los alimentos. El color, se debe a los pigmentos naturales, como las clorofilas, los carotenoides y las antocianinas, o a los pigmentos que resultan de las reacciones de pardeamiento enzimático.

El ácido ascórbico, el peróxido de hidrógeno, los revestimientos comestibles y el envasado en atmósfera modificada (MAP), junto con el almacenamiento a baja temperatura, se utilizan para inhibir el pardeamiento enzimático y aumentar la vida útil de las frutas y verduras recién cortadas (Lamikanra y Watson, 2001).

#### **3.2.3.1 Luminosidad**

La luminosidad es definida como la cantidad de luz emitida o reflejada por un objeto representado su claridad u oscuridad y en propiedades fotométricas

también definida como el flujo luminoso que atraviesa una superficie (Retting et al., 2014). Considerando la presencia de color blanco ( $L=100$ ) o bien color negro ( $L=0$ ), y representa el brillo de un específico, mientras  $L$  aumenta, el color correspondiente se vuelve más brillante (Du y Sun, 2005).

En la Figura 26 se muestran los cambios de luminosidad de las muestras de papa sometidas a los tratamientos de postescaldado: ácido ascórbico 0.25%, ácido ascórbico 0.5% y la combinación de inulina de agave 2% y ácido ascórbico 0.25%, durante su almacenamiento en congelación, apreciándose una tendencia al aumento de luminosidad con respecto al tiempo de almacenamiento, principalmente con el mayor incremento en día 30. No existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos utilizados ( $p > 0.05$ ).

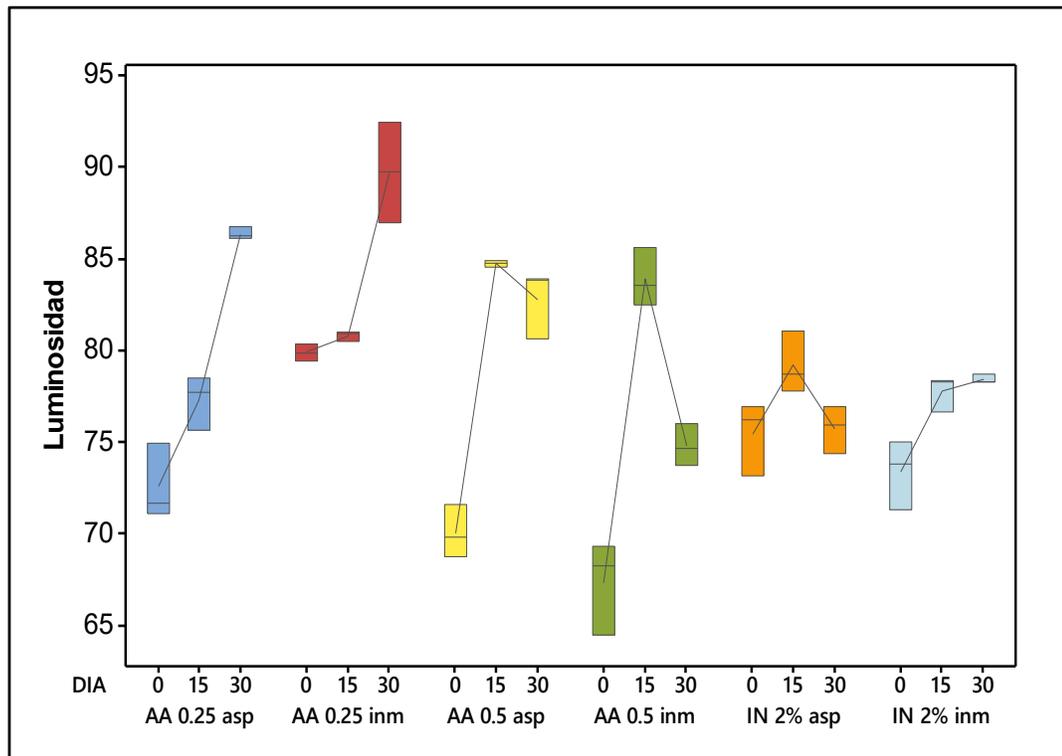


Figura 26. Cambios en luminosidad en función a los tratamientos y tiempo de almacenamiento. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

Los tratamientos no fueron significativamente diferentes entre sí, sin embargo, se observa que al día 30 se registró una menor luminosidad con el tratamiento de inulina respecto a las muestras que solo fueron tratadas con ácido ascórbico, mostrando una coloración menos clara. Una disminución en el valor de luminosidad se asocia a un aumento del pardeamiento enzimático (Rocha y Morais, 2003).

El ácido ascórbico se considera un inhibidor altamente efectivo del pardeamiento enzimático, debido a su capacidad de reducir las quinonas, generadas por la oxidación de los polifenoles, hacia los compuestos fenólicos (incolores), no obstante una vez que el ácido ascórbico agregado ha sido completamente oxidado a ácido dehidroascórbico, las quinonas pueden acumularse y se polimerizan, originando el pardeamiento (Friedman, 1997).

Los valores de luminosidad que han sido reportado para papa con un escaldado de 1 min a 90°C es L=52 (Heredia *et al.*, 2014). También Severini *et al.*, (2005) evaluaron la calidad de cubos de papa, los resultados promedio de las mediciones de color realizadas en papas crudas fue L=52.55. Estos resultados difieren a los obtenidos en durante la experimentación, sin embargo, es importante señalar que la luminosidad aumenta con las muestras congeladas, este resultado se puede atribuir a la absorción de agua durante el escaldado y la formación de cristales muy pequeños de hielo durante la congelación que reflejan la luz de manera diferente.

Por otro la luminosidad tuvo valores mayores cuando el método de infiltración o aplicación del tratamiento se realizó por inmersión.

### 3.2.3.2 Cromaticidad

El parámetro croma se correlaciona con el grado de saturación del color por lo que es un indicativo de la intensidad del color, eso va en una escala de 0 a 100, donde 0 indica una menor intensidad y 100 la mayor intensidad para el color que se está expresando en función al ángulo de tono (Pereira, 2012).

La Figura 27, muestra el cambio en cromaticidad para las papas cortadas por efecto de los tratamientos aplicados y el tiempo de almacenamiento en congelación. Se realizó un análisis de varianza ( $p < 0.05$ ), indicativo de que si existió diferencia estadísticamente significativa en función de los diferentes tratamientos, siendo las papas tratadas con infiltración de ácido ascórbico las que presentaron valores menores en cromaticidad, es decir, una menor intensidad en el color. Las papas que presentaron los valores más altos de cromaticidad fueron las que se trataron con la combinación de inulina 2% y ácido ascórbico 0.25%, sin embargo se observa que durante el día 0 de almacenamiento los resultados de cromaticidad eran similares entre sí, sin importar el tratamiento aplicado, obteniéndose valores entre 19 y 22.

Con respecto al periodo de almacenamiento se observa que, sin importar el tratamiento aplicado, los valores de cromaticidad disminuyen a los 30 días, implicando una pérdida en la saturación del color, asociada al desarrollo del oscurecimiento enzimático provocado por la actividad de las enzimas polifenoloxidasas.

En estudios reportados por Limbo y Piergiovanni (2006) después de 10 días de almacenamiento las modificaciones del índice de croma fueron más pronunciadas utilizando y los valores máximos de cambios de croma fueron máximos cuando la concentración de ácido cítrico fue de 1.25% y de ácido ascórbico estaba alrededor de 5%

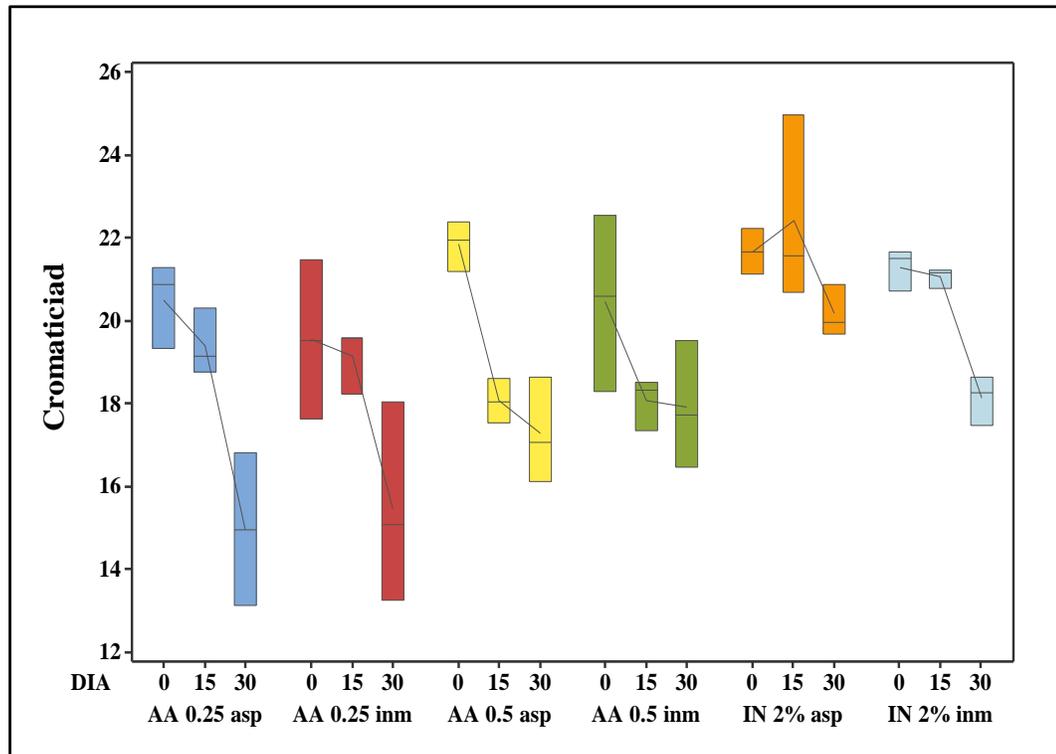


Figura 27. Comportamiento de cromaticidad por efecto del tratamiento y tiempo.  
AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

Las muestras presentamos valores de cromaticidad semejantes sin importar la forma de aplicación del tratamiento, sin embargo, posible resaltar que el lote tratado con la combinación del crioprotector y ácido ascórbico presento mayores valores de cromaticidad cuando el tratamiento fue aplicado por aspersion en comparación con los valores obtenidos en lotes con aplicación por inmersión. Se ha observado que la aplicación de antioxidantes y cloruro de calcio aplicados por inmersión en fruta fresca cortada muestran una notable eficacia en la estabilización del color de las frutas cortadas ya que reducen los cambios en el color de la superficie del producto (Soliva-Fortuny *et al.*, 2002).

### 3.2.3.3 Índice de oscurecimiento

El índice de oscurecimiento representa la pureza del color marrón sobre colores previos analizados en un alimento y se ha reportado como un importante

parámetro en procesos donde el oscurecimiento enzimático y no enzimático tienen lugar (Palou *et al.*, 1999).

La vida útil de las papas peladas y cortadas está fuertemente limitada por el pardeamiento enzimático que conduce a una disminución en la calidad de los alimentos, ya que implica deterioro. Las reacciones de pardeamiento catalizadas por enzimas implican la oxidación de compuestos fenólicos por la enzima polifenoloxidasas (PPO) que actúa como catalizador en dos reacciones diferentes: la hidroxilación de monofenoles a *o*-difenoles y la oxidación de *o*-difenoles a *o*-quinonas. Estas quinonas son compuestos altamente reactivos que reaccionan de forma no enzimática para dar lugar a pigmentos marrones, negros o rojos, llamados melaninas, que son responsables de la apariencia menos atractiva y la pérdida de calidad nutricional (Tomas-Barberan y Espin, 2001; Cantos *et al.*, 2002).

La Figura 28 muestra el comportamiento de índice de oscurecimiento con respecto al tiempo de almacenamiento y los tratamientos aplicados, revelando que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, ya que no existen variaciones considerables en relación con el tratamiento. Las reacciones de pardeamiento catalizadas por enzimas se controlan mediante el uso de reactivos químicos tales como ácido ascórbico, ácido cítrico o 4-hexil resorcinol (Limbo y Piergiovanni, 2006), sin embargo, no existió una diferencia considerable cuando la concentración del ácido ascórbico fue mayor o se encontraba en combinación con la inulina.

El comportamiento del índice de oscurecimiento denotó variaciones para los diferentes tiempos de almacenamiento, exhibiendo el mayor índice de oscurecimiento después de 30 días.

Las muestras que fueron tratadas con la combinación de ácido ascórbico 0.25% e inulina 2% presentaron el menor oscurecimiento, esto se relaciona a un aumento inicial hacia tonalidades amarillas provocadas por la inulina.

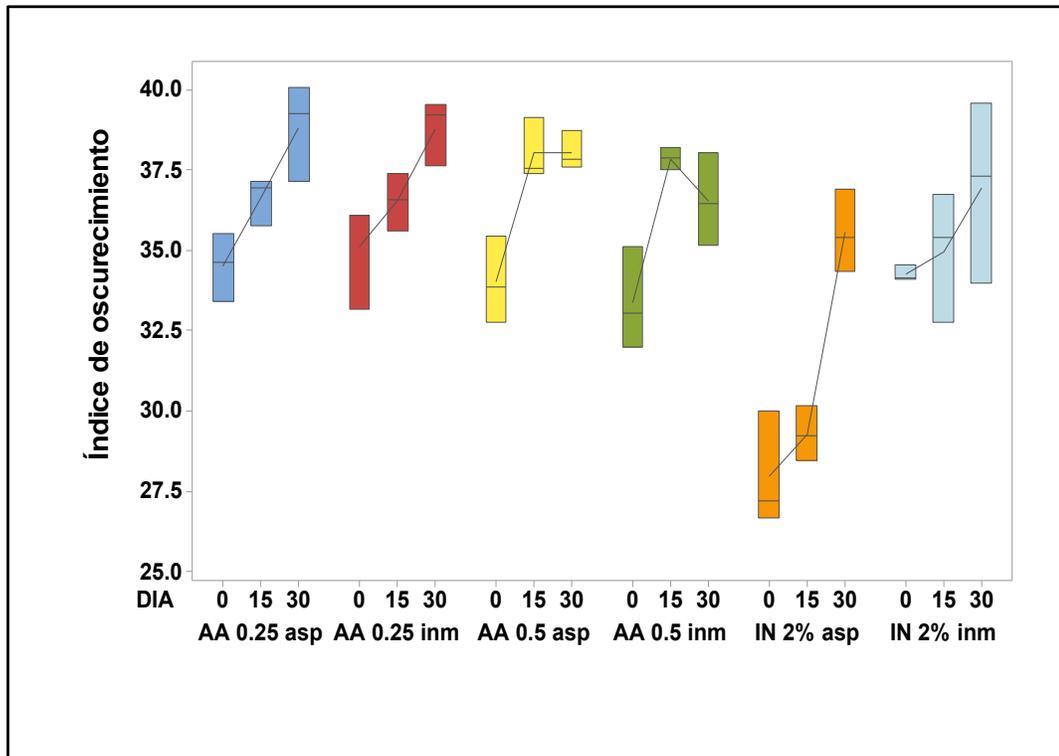


Figura 28. Comportamiento del índice de oscurecimiento en función al tratamiento. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

### 3.2.3 4 Ángulo Hue

En el espacio cromático el ángulo Hue representa el color de un alimento en valor de ángulos de tonos de 0° a 360° (Padrón- Pereira, 2009). Se consideró según los valores del círculo de color donde 0° (rojo), 30° (rojo-naranja), 60°(amarillo), 90° (amarillo verde), 120°(verde), 150° (turquesa), 180° (cyan), 210° (azul cobalto), 240° (violeta), 300° (magenta) y 330° (carmesí). Un valor negativo en el ángulo Hue significa que la superficie de la papa tendió a marrón (Limbo y Piergiovanni, 2006).

La Figura 29, muestra los cambios del ángulo Hue por efecto de los diversos tratamientos aplicados y el tiempo que las papas fueron almacenadas en congelación, observándose que en el efecto del tratamiento no existe una diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

Se observa que el periodo de almacenamiento modifica los valores del ángulo Hue, ya que en la mayoría de las muestras los valores se incrementaron mientras más largo es el periodo de almacenamiento, siendo las papas tratadas con ácido ascórbico 0.5% e inmersión y el lote de la combinación de inulina con ácido, las únicas que presentaron una disminución en el tono. Los cambios durante el almacenamiento son atribuidos a la forma en la que el agua se concentra en la superficie de las papas cortadas y la formación de capas de cristales de hielo más gruesas, lo que implica diferentes valores en el ángulo Hue en comparación con las muestras que solo tenían 24 h en congelación.

El ángulo Hue y croma (C) se caracterizan por tener una correlación con el color visual externo de frutas y verduras, y se utilizan en estudios sobre maduración, conservación y almacenamiento (Carreño *et al.*, 1995, Dodds *et al.*, 1991)

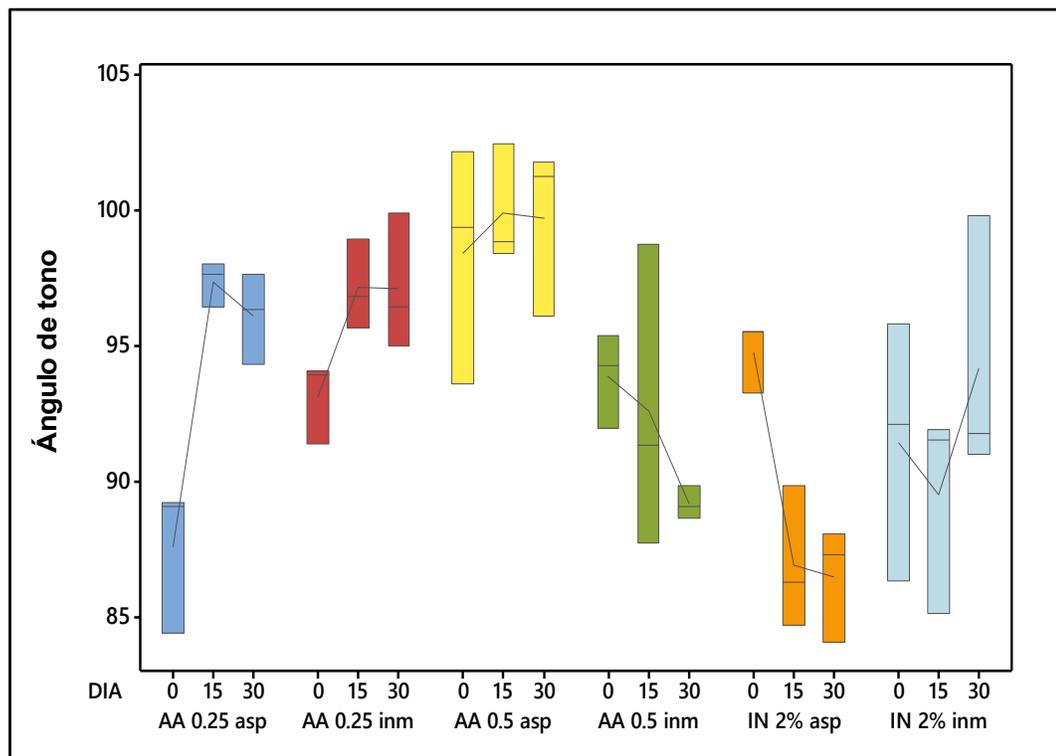


Figura 29. Comportamiento del ángulo de tono por efecto del tratamiento y tiempo. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

### 3.2.4 Fenoles totales

Las papas son fuente de compuestos antioxidantes, ácidos fenólicos, carotenoides, entre otros conocidos como fitoquímicos o sustancias bioactivas benéficas para la salud (Reddivarri *et al.*, 2007).

En la Figura 30 se observa el comportamiento de fenoles totales expresado en mg/g. Se realizó un análisis de varianza y se determinó que el tratamiento aplicado no tiene diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

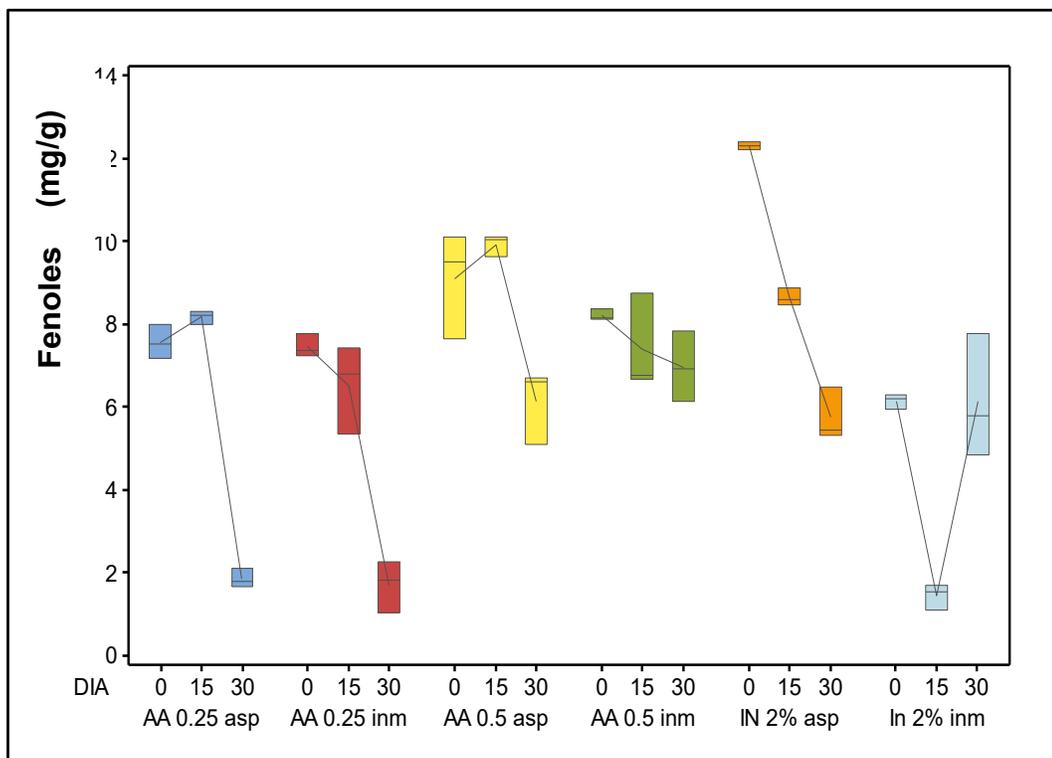


Figura 30. Comportamiento de fenoles por efecto del tratamiento y tiempo.  
AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

El valor de fenoles totales en las papas tratadas con ascórbico 0.25% y 0.5% mostró una disminución conforme el tiempo de almacenamiento se incrementaba. García- Procaccini *et al.* (2014) reportaron que en tratamientos que combinaban ácido ascórbico y ácido cítrico se observaron valores mayores de fenoles totales en el inicio del almacenamiento en dos variedades de papa.

Según Gil *et al.* (1998), la acción reductora del ácido ascórbico agregado podría disminuir la degradación de los fenoles totales durante el almacenamiento en respuesta a la aplicación de ácido ascórbico en manzana.

Por lo contrario, en las muestras tratadas con la aplicación de inulina y ácido ascórbico por inmersión, presentaron un incremento después de 30 días de acondicionamiento en congelación. Por lo que el ácido agregado influyó en los valores resultantes de la determinación de los fenoles (Waterhouse, 2002), incrementado su contenido, esto se debe al método de cuantificación espectrofotométrico utilizado. Dado que el reactivo de Folin-Ciocalteu reacciona con todos los oxidantes presentes.

### **3.2.5 Actividad enzimática**

En el escaldado de la papa se busca la inactivación de las enzimas que representan un cambio importante de color, asociado al desarrollo de aromas indeseables lo que afecta la calidad del producto final como la enzima polifenoloxidasas que es la responsable del pardeamiento en los tubérculos procesados. Se asume generalmente que las reacciones de pardeamiento son una consecuencia directa de la acción de la polifenoloxidasas (PPO) y la peroxidasa (POD) sobre los polifenoles para formar quinonas, que en última instancia se polimerizan para producir el aspecto dorado de frutas y vegetales recién cortados. Una vez que la compartimentación de las células comienza a fallar, PPO y / o POD pueden actuar sobre los sustratos de fenol (Degl'Innocenti *et al.*, 2005). El primer paso en la vía del fenilpropanoide es la conversión de L-fenilalanina en *trans*-ácido cinámico por fenilalanina amoníaco liasa (PAL), que es una enzima clave de la síntesis de polifenoles y generalmente es inducida por heridas (Saltveit, 2000; Tomás-Barberán *et al.*, 1997).

En la Figura 31 se observa las modificaciones de la actividad peroxidasa [Uabs/min] en función a los tratamientos aplicados y el tiempo de almacenamiento. Al realizar un análisis de varianza ( $p > 0.05$ ) para los tratamientos, estos no representan una diferencia significativa con relación a la actividad peroxidasa. Se

exhibe una disminución de los valores en el día 30 en comparación con las muestras que tenían sólo 24 h congeladas, sin embargo, para el caso de las papas tratadas con ácido ascórbico 0.25% por aspersion, se observa un incremento de la actividad peroxidasa en el día 30 por lo que éste tratamiento no fue completamente útil en el retardo o efecto de la actividad enzimática pudiendo provocar una mayor degradación del tubérculo.

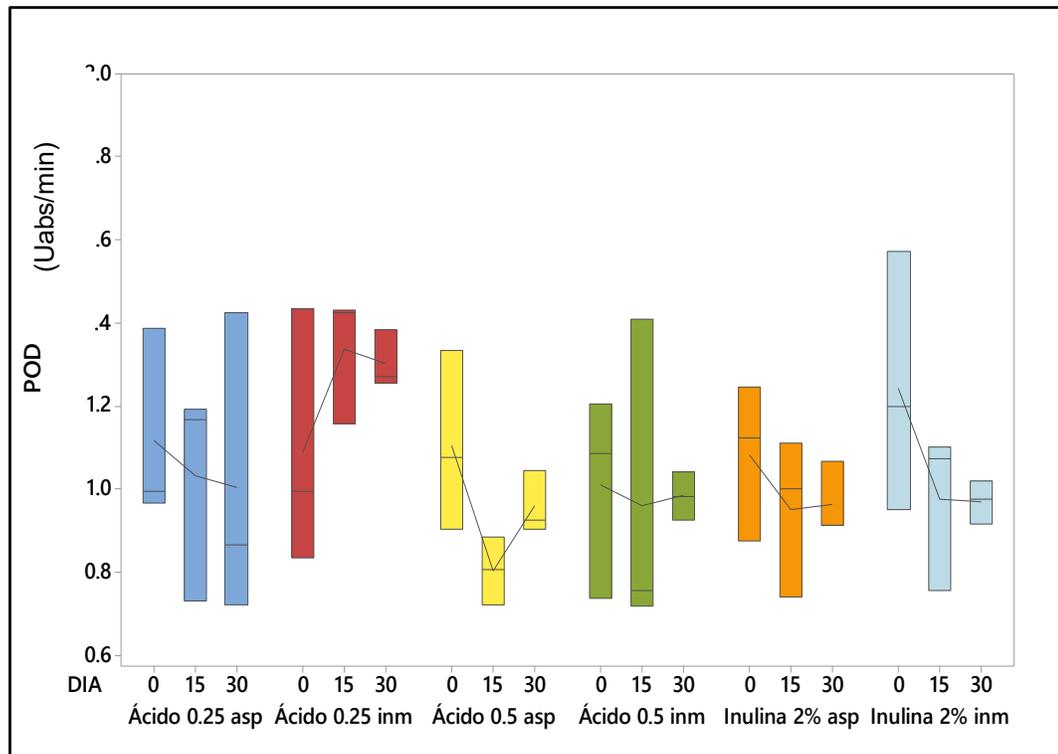


Figura 31. Actividad peroxidasa por efecto del tratamiento y tiempo.

### 3.2.6 Textura

Las propiedades mecánicas de los alimentos desempeñan un papel primordial en el comportamiento de estos durante el procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo. Se han llevado a cabo trabajos para determinar el efecto adverso de los ciclos de congelación-descongelación en las propiedades sensoriales y de retención de agua de algunos alimentos, y observaron que las variaciones en sus propiedades son principalmente debidas a cambios

estructurales de las células o componentes celulares. La textura es uno de los atributos sensoriales de mayor importancia para la aceptación de papa procesada. Se ha observado un efecto de variación importante entre los tubérculos, aspecto fundamental para la industria, ya que se espera establecer condiciones uniformes para el procesamiento de los productos a partir de papa (Thygesen *et al.* 2001).

### **3.2.6.1 Análisis de perfil de textura**

#### **a) Dureza en el primer y segundo ciclo de compresión**

En la Figura 32, se muestran los cambios en dureza (N), relacionados con el primer ciclo de compresión. Se realizó un análisis de varianza ( $p > 0.05$ ) la cual indica que el efecto de los tratamientos que fueron aplicados no fue significativo, es decir, la aplicación de inulina de agave como agente crioprotector no produjo una mejora para el parámetro de dureza en comparación con las papas tratadas sin el agente crioprotector. Sin embargo, en las papas que fueron tratadas con inulina aplicada por inmersión exhibieron el valor más alto de dureza posterior a las primeras 24 h de congelación.

Existió una notable disminución de la dureza en todas las muestras del producto con excepción de las papas tratadas con ácido ascórbico aplicado por aspersion. Se observa que el tiempo que almacenamiento es un factor que influye en las características finales del producto. Esto se debe a la gran pérdida de agua que presentan las muestras en el proceso de descongelación. Además, también se relaciona con la retracción del almidón. El almidón está formado por cadenas lineales de glucosa, llamadas amilosa, y por estructuras ramificadas complejas de amilopectina. Los gránulos de almidón en una suspensión fría tienden a hincharse, reteniendo agua, y a una cierta temperatura gelatinizan espesando el líquido. Cuando este gel se deja reposar, las cadenas lineales de amilosa se agregan como si cristalizaran y liberan parte del agua previamente retenida en su estructura, en un proceso llamado sinéresis. El tiempo de conservación al estado congelado juega un papel importante en la viscosidad aparente y otros parámetros

reológicos (Álvarez y Canet, 2001). También el efecto de la recristalización provocado por las fluctuaciones de temperatura, genera un mayor crecimiento en los cristales de hielo.

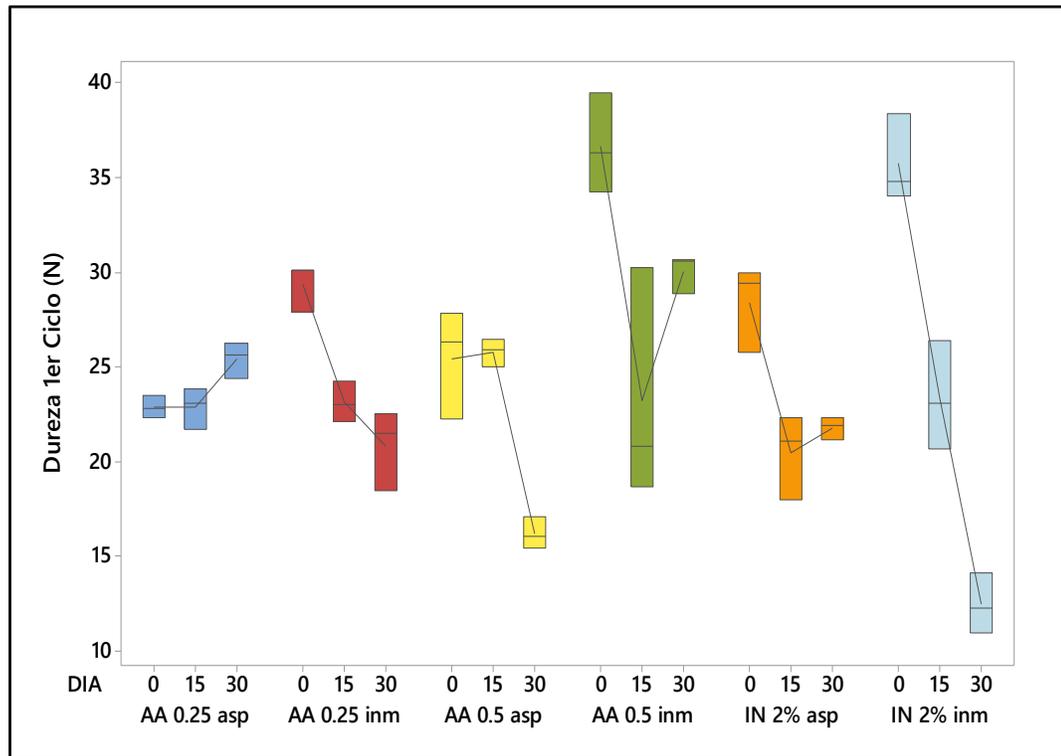


Figura 32. Cambios en dureza por compresión durante el primer ciclo en papa en cubos. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

En la Figura 33, muestra los cambios de dureza en el segundo ciclo de compresión que al igual que en primer ciclo de compresión hubo una disminución de la dureza al incrementarse el periodo de almacenamiento, mostrando que las estructuras de la papa perdieron rigidez y fue menos estable después de 30 días de almacenamiento en congelación. En relación con la aplicación del crioprotector se observa que los valores más altos de dureza corresponden a las muestras tratadas con inulina, esto puede relacionarse con la interacción del crioprotector con el agua, disminuyendo la velocidad de crecimiento de los cristales de hielo, alterando su forma (Bollinger *et al.*, 2000), ofreciendo protección frente a los efectos perjudiciales de la descongelación.

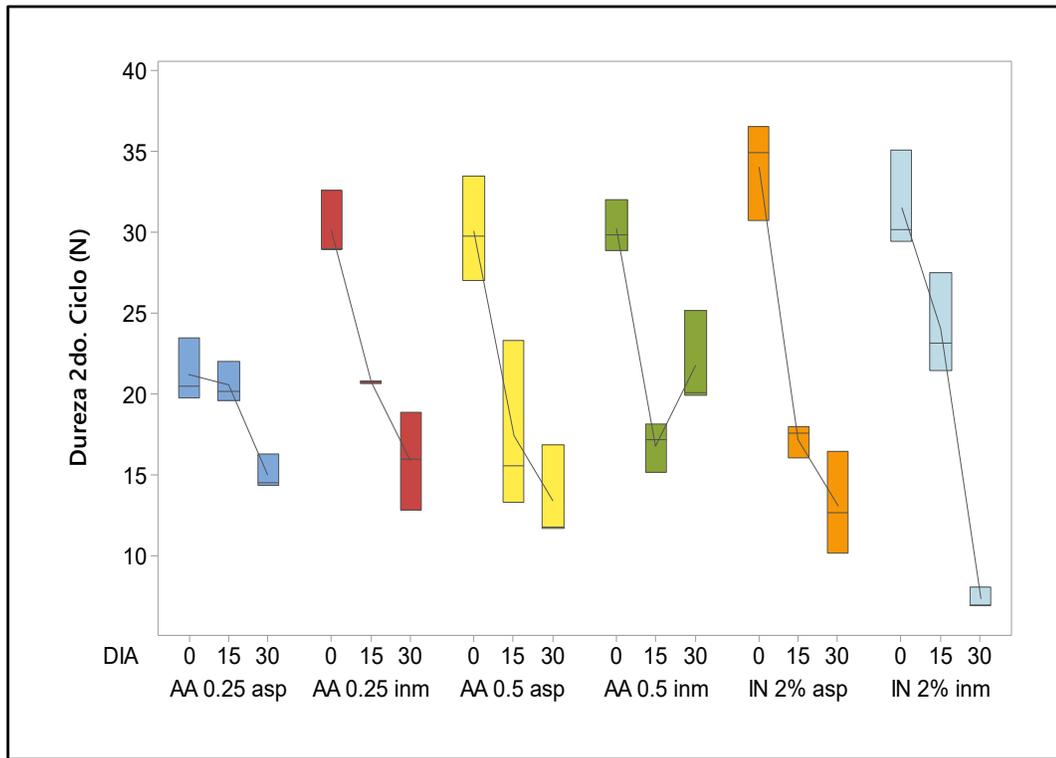


Figura 33. Cambios en dureza por compresión durante el segundo ciclo en papa en cubos. AA = ácido ascórbico, IN = inulina.

## b) Elasticidad

La elasticidad se define como la propiedad de un material por la que recupera su forma y dimensiones originales parcial o totalmente al cesar la acción del esfuerzo aplicado. Un cuerpo es perfectamente elástico si la deformación ocurre instantáneamente con la aplicación de un esfuerzo y esta deformación desaparece completamente cuando se retira el esfuerzo aplicado (Castro *et al.*, 2007).

La Figura 34, muestra los resultados obtenidos de elasticidad con relación a los diversos tratamientos. Se realizó un análisis de varianza en cual indica que no existe un efecto significativo de los tratamientos ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, hubo una pérdida de elasticidad en el producto conforme se incrementó el tiempo de almacenamiento en las papas tratadas sólo con ácido ascórbico. Álvarez *et al.* (2005) atribuyen que los cambios en las propiedades reológicas durante el

almacenamiento en congelación que están relacionados con las recristalizaciones, asociadas con cambios en el tamaño, número, forma y orientación de los cristales de hielo, causadas posiblemente por ligeras fluctuaciones de la temperatura al aumentar el tiempo de conservación al estado congelado. Ello es una de la causas de un mayor grado de ruptura y daño mecánico en la estructura celular.

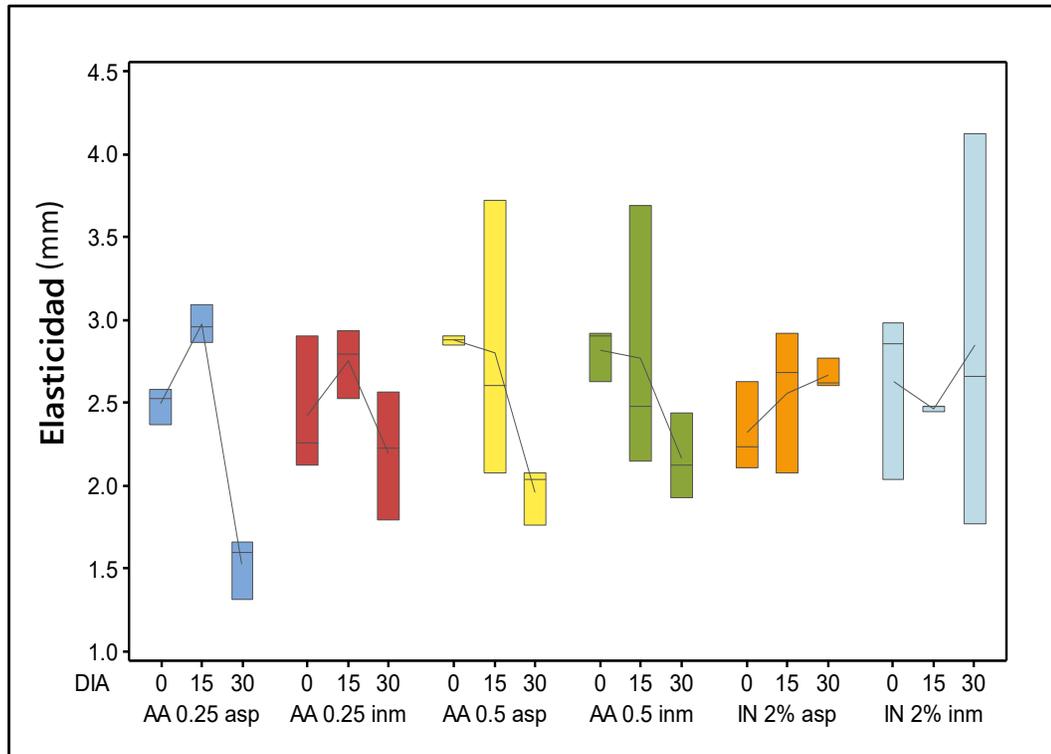


Figura 34. Cambios de elasticidad por efecto del tratamiento post-escaldado.  
AA = ácido ascórbico, IN = inulina

Las muestras que fueron almacenadas por 30 días presentaron la menor elasticidad con excepción a las muestras que fueron tratadas con el crioprotector, lo que indica que la inulina contribuye a mejorar las características del producto final.

### c) Cohesividad

La Figura 35, muestra el comportamiento de la cohesividad propiedad que indica la capacidad de un sólido a soportar la compresión. Se realizó un análisis de

varianza que determinó que los tratamientos aplicados no tuvieron efecto alguno ( $p > 0.05$ ) sobre la cohesividad de la papa almacenada. El tiempo de almacenamiento modificó los valores de cohesividad en todos los lotes tratados, exhibiendo menores valores en el día 30 de almacenamiento. Valores bajos de cohesividad indican una modificación en la estructura de las paredes celulares luego de la compresión provocando una mala calidad en las características del producto final.

Se observa que los más altos valores de cohesividad se obtuvieron en a los 15 días de almacenamiento en la mayoría de los tratamientos aplicados. Mientras que los valores más bajos se presentaron en las papas tratadas con inulina, sin embargo, son muy similares a los resultados obtenidos con los demás tratamientos.

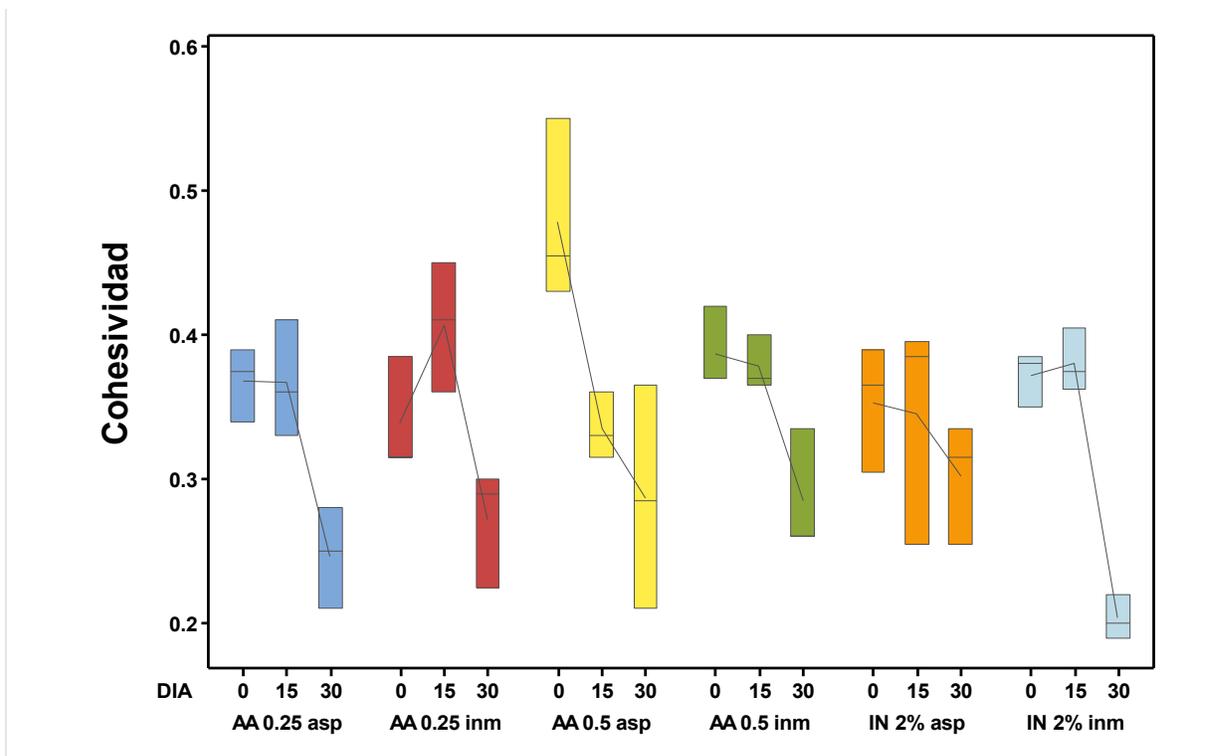


Figura 35. Comportamiento del tratamiento postescaldado en la cohesividad de papa en cubo. AA = ácido ascórbico, IN = inulina

### 3.2.6.2 Evaluación de firmeza

Un efecto de los procesos de escaldado es el cambio de textura que sufre el tubérculo debido principalmente a gelatinización de almidones y solubilización de sustancias pécticas, lo que produce pérdida de firmeza en el tejido (Abu-Ghannam y Vrowley, 2006).

Se han reportado tratamientos entre 55°C y 75°C en los que se obtienen productos con alta firmeza debido a la menor separación celular que se genera; adicionalmente, se ha propuesto que la enzima metil-pectin-esterasa juega un rol importante en este fenómeno debido a que posibilita la formación de redes con iones calcio y magnesio (Abu-Ghannam y Vrowley, 2006; Liu y Scanlon, 2007). Sin embargo, en el caso de un escaldado a temperaturas más elevadas durante tiempos largos podría provocar una pérdida de firmeza.

La Figura 36 representa los cambios de firmeza expresada en N que presentaron las papas en función de los diversos tratamientos y tiempo de almacenamiento. El análisis estadístico no reveló diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) por efecto del tipo de tratamiento aplicado en los cubos de papa, por lo que la aplicación de inulina como crioprotector no favoreció los resultados de firmeza en las papas tratadas, es probable que se requiera un aumento en su concentración para observar un mayor efecto.

Con excepción del lote en el cual se aplicó ácido ascórbico 0.25% por inmersión, todos los lotes restantes presentaron una disminución en la firmeza conforme el tiempo de almacenamiento se incrementó. De acuerdo con los resultados obtenidos, las muestras que presentan una mayor estabilidad fueron las tratadas con ácido ascórbico 0.25% por inmersión

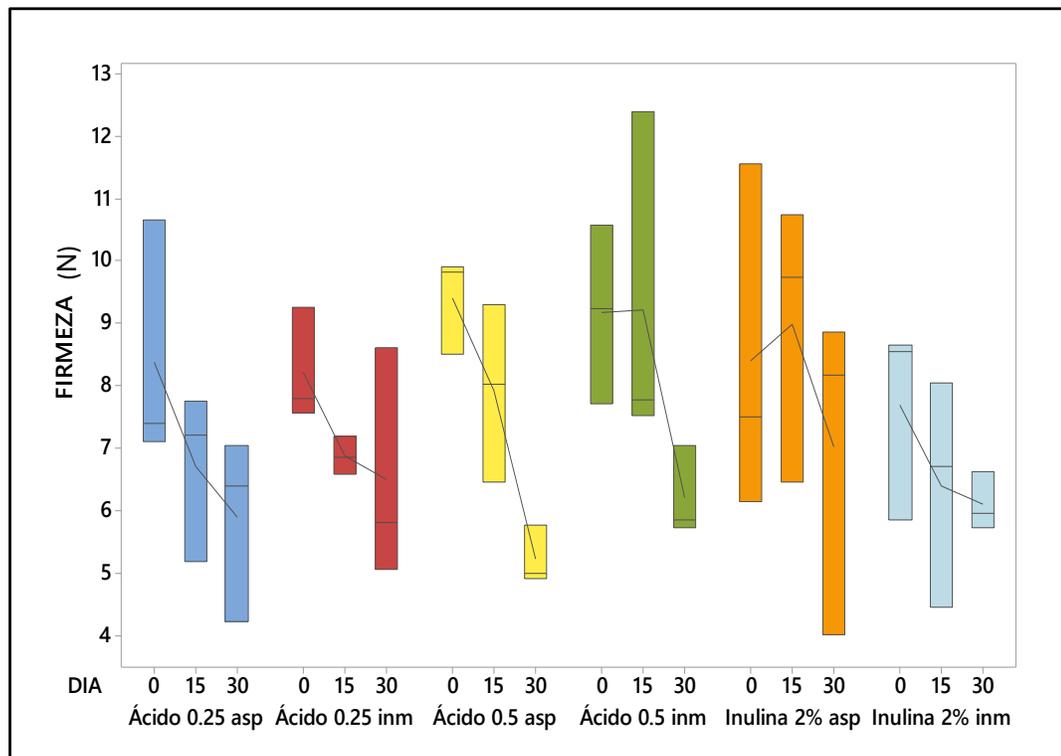


Figura 36. Comportamiento del tratamiento post escalado en la firmeza de papa en cubo. AA = ácido ascórbico, IN = inulina

### 3.2.7 Análisis de imagen

La localización de los cristales de hielo, su número y tamaño, junto con su velocidad de crecimiento durante la congelación, causan un mayor o menor deterioro irreversible en la estructura de los tejidos dependiendo de las características de la misma (Canet y Álvarez, 2005).

En el caso de los productos congelados consumidos sin cocción previa, la operación de descongelación final, y su interacción con la congelación, adquiere una importancia primordial y juega un papel fundamental en la determinación de las propiedades reológicas y de textura final de los productos congelados (Álvarez y Canet, 2001).

Tabla 9. Micrografías de papa durante su almacenamiento

	DÍA 0	DÍA 15	DÍA 30
Agua			
Ácido ascórbico 0.25%			
Ácido ascórbico 0.5%			
Inulina 2%			

La Tabla 9 muestra las micrografías digitales que corresponden a los diversos tratamientos y tiempo de almacenamiento. La primera columna corresponde a las muestras que tuvieron solo 24 h de congelación, la segunda columna a 15 días de almacenamiento y la tercera columna corresponde a las muestras con 30 días de almacenamiento. En la primera fila se observa un mayor brillo del papa en comparación con las demás muestras debido a una mayor reflexión de la luz por efecto de una acumulación de agua en la superficial. Se observó la formación de pequeños cristales de hielo en las muestras sin almacenamiento con diferencias mínimas en relación con los tratamientos aplicados.

Para la congelación de papa con el tratamiento crioprotector de inulina, se observó que la formación de hielo en la superficie provocó la formación de cristales que

son muy similares a los cristales formados con los demás tratamientos pero la estructura de los cristales cambió, su estructura fue menos puntiaguda y presentó una formación de capas de cristal que recubrían toda la superficie.

Los cristales de hielo más grandes e irregulares se presentaron a los 30 días de almacenamiento.

Las muestras de papa más aceptables visualmente fueron las que tenían el tratamiento crioprotector de inulina de agave, ya que presentaron una menor cantidad de cristales en toda la superficie del producto, esta característica se presentó durante primeras 24 h de congelación y a los 15 días de almacenamiento.

### **3.2.8 pH**

El pH es un parámetro importante en la calidad de los alimentos, en el caso de vegetales y frutos es determinante de la calidad final del producto.

La tabla 10 muestra el comportamiento del pH en cubos de papa durante su almacenamiento en congelación en relación con el tratamiento aplicado postescaldado, se observa que el valor de pH se ve afectado por los tratamientos aplicados, al de acuerdo al análisis estadístico donde ( $p < 0.05$ ) por lo que existe una diferencia del pH de la papa en función del tratamiento que fue utilizado, sin embargo, los valores de pH presentan variaciones mínimas teniendo un rango entre 5.84 a 6.23.

Además se muestra una paulatina disminución del pH en todas las muestras de papa conforme se incrementa el tiempo de almacenamiento, presentando los valores mínimos de pH en el día 30 de almacenamiento.

Tabla 10. Cambios de pH durante el almacenamiento en papa cortada congelada

Tiempo (días)	Agua		Ac. Ascórbico 0.25 %	
	Inmersión	Aspersión	Inmersión	Aspersión
<b>0</b>	6.04 ± 0.03	6.13 ± 0.04	5.99 ± 0.19	6.00 ± 0.07
<b>15</b>	6.00 ± 0.07	6.06 ± 0.02	5.89 ± 0.05	5.95 ± 0.04
<b>30</b>	5.89 ± 0.27	5.84 ± 0.23	6.00 ± 0.05	5.87 ± 0.09
Tiempo (días)	Ac. Ascórbico 0.5 %		Inulina 2 % y Ac. Ascórbico 0.25 %	
	Inmersión	Aspersión	Inmersión	Aspersión
<b>0</b>	5.99 ± 0.13	5.83 ± 0.13	6.23 ± 0.13	6.23 ± 0.11
<b>15</b>	6.08 ± 0.52	5.60 ± 0.20	6.04 ± 0.01	6.01 ± 0.04
<b>30</b>	5.76 ± 0.01	5.69 ± 0.01	5.92 ± 0.04	5.87 ± 0.02

Con respecto a la forma en que se aplicó el tratamiento, se observa que todos los tratamientos que fueron aplicados por inmersión presentan un mayor pH en comparación con los tratamientos aplicados por aspersión.

En la Tabla 11, se muestra que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos de ácido ascórbico con una concentración de 0.25 % y 0.5% aplicados por aspersión e inmersión respectivamente.

Tabla 11. Tabla de agrupación de medias para pH

TRATAMIENTO	Agrupación
Inulina 2 % inmersión	A
Inulina 2 % aspersión	A
Ácido asc. 0.25 % inmersión	A
Ácido asc. 0.25 % aspersión	A B
Ácido asc. 0.50 % inmersión	A B
Ácido asc. 0.50 % aspersión	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Los resultados obtenidos son aproximados a los reportados por Quispe-Mendoza *et al.* (2018) en puré de papa tras 16 semanas de almacenamiento en

congelación, donde el pH inicial estuvo comprendido entre 6.23 - 6.40 y posterior al almacenamiento se redujo a 6.07 - 6.24. Estos valores también son similares a lo reportado por Fernández *et al.* (2009) en puré de papa con pH de 6.20 con una tendencia decreciente con el tiempo de almacenamiento.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron se puede concluir que la utilización de inulina de agave como crioprotector en la congelación y almacenamiento de alimentos puede resultar efectiva para mejorar algunas de las características del alimento como elasticidad, disminución de la actividad enzimática, formas regulares en los cristales de hielo en la congelación y pH.

Es importante destacar que el tiempo de almacenamiento tuvo una influencia en la mayoría de las propiedades de la papa pero con mayor relevancia en el peso perdido y textura. Esto se debe a que al dañarse la estructura y tejidos de la papa presentan mayor liberación de agua, afectando a los atributos de calidad del producto.

Por otra parte, la aplicación de los tratamientos tuvo efecto sobre el punto inicial de congelación teniendo valores más alto en las muestras que no tuvieron tratamiento alguno y sólo fueron escaldadas y enfriadas con agua.

Las papas que fueron tratadas con inulina presentaron el menor tiempo de congelación y en el análisis de imagen se observó la formación de cristales de hielo más regulares y en menor cantidad.

Al aplicar inulina al 2 % y en combinación con ácido ascórbico a una concentración de 0.25 % se obtuvieron los mejores resultados para índice de oscurecimiento y luminosidad, ya que el índice de oscurecimiento disminuyó y la luminosidad aumentó.

Por último, el uso de diversos biopolímeros como agentes crioprotectores en la industria alimentaria es una alternativa viable para prolongar la vida útil de los alimentos y satisfacer las necesidades y demandas de los consumidores.

## RECOMENDACIONES

- La utilización de otro polisacárido como agente crioprotector y comparar cual tiene el mayor efecto benéfico sobre las propiedades fisicoquímicas y texturales de la papa.
- Incrementar el tiempo de almacenamiento en congelación de la papa cortada, con la finalidad de comprobar la efectividad del tratamiento en diferentes condiciones y no sólo durante la estabilización del producto congelado.
- Realizar un conteo microbiano y pruebas que permitan identificar la actividad microbiana previa al almacenamiento y después del mismo para justificar posibles cambios o alteraciones en las características del producto, además de asegurar que el producto sea seguro para su consumo.
- Utilizar diferentes frutos y hortalizas para analizar el efecto de los tratamientos. Además de considerar la inversión y costos de los tratamientos para conocer la viabilidad de su aplicación en producción masiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Ghannam, N., Crowley, H. (2006). The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Journal of Food Engineering*, 74: 335-344.
- Aguilar, A.R. (2004). Comportamiento en características de calidad de líneas extrafirmes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en poscosecha. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (México).
- Aguilar C.N., Reyes M.L., De la Garza H., Contreras-Esquivel J.C. (1999). Aspectos bioquímicos de la relación entre el escaldado TB-TL y la textura de vegetales procesados. *Revista de la Sociedad Química de México*, 43, 54-62.
- Álvarez, M.D., Canet, W. (2000). Kinetics of softening of potato tissue by temperature fluctuations in frozen storage. *European Food Research and Technology*, 210: 273-279.
- Álvarez, M.D., Fernández, C., Canet, W. (2005). Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 2327-2340.
- Alvarado, C., Camacho, M., Cejas, R., Rodríguez, J. (2014). Profiling of commercial Agave fructooligosaccharides using ultrafiltration and high-performance thin layer chromatography. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13: 417-427. Tienes dos formatos
- Andersson A., Gekas V., Lind I., Oliveira F., Öste R. (1994). Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 34: 229-251.

- Barreiro, J., Sandoval, A. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Caracas: Editorial Equinoccio.
- Barreiro, P.M., Fanghanel H.H., Montañez V.C., Yoldi M., Olvera G.J., Sánchez R.R., Ochoa B.R., Rodríguez F.C., Roque Z.J., Ortega R.C., Palacios F.H. (1998). La papa en México, un cultivo con potencialidad. *Papa y Cebada. Claridades Agropecuarias*, 57:3-15.
- Blanco, S.G. (1979). Obtención de fructosa a partir de la hidrólisis de inulina de agave tequilana por diversos métodos. Tesis de Licenciatura de Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México (México).
- Bollinger, S., Wildmoser, H., Goff, H.D., Tharp, B.W. (2000). Relationship between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream. *International Dairy Journal*, 10: 791-797.
- Booth, R.H., Shaw, R.L. (1990). Principios de Almacenamiento de Papa. International Potato Center. Lima, Perú: Hemisferio Sur.
- Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D., Lilly, A.E.V. (1980). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. 2nd ed., Zaragoza, España: Acribia
- CAMAGRO. Cámara Agropecuaria y Agroindustrial de El Salvador. (2005). Manual del Manejo Postcosecha de Frutas y Hortalizas. El Salvador.
- Canet-Perraño, W. (1980). Estudio de la influencia de los tratamientos térmicos de escaldado, congelación y descongelación en la textura y estructura de patata (*Solanum tuberosum*). Tesis Doctoral de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Cantos, E., Tudela, J.A., Gil, M.I., Espín, J.C. (2002). Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3015-3023.

- Canet, W., Álvarez, M.D. (2005). Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 2327-2340.
- Carreño, J., Almela, L., Fernández-López, J.A. (1995). Proposal of an index for the objective evaluation of the color of red table grapes. *Food Research International*, 28: 373-377.
- Castro, E.S., Hombre-Morgado, R.A.D. (2007). Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121381/ParamMecTexAlim07.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consultado el 26 de febrero 2018.]
- Chattopadhyay, P. (2014). Freezing of foods/ Growth and Survival of Microorganisms. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)*, 968-971.
- Christiaens, S., Van Buggenhout, S., Houben, K., Fraeye, I., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E. (2011). Towards a better understanding of the pectin structure–function relationship in broccoli during processing: Part I—macroscopic and molecular analyses. *Food Research International*, 44: 1604-1612.
- CIP. International Potato Center (2018). How Potato Grows. Disponible en <https://cipotato.org/crops/potato/how-potato-grows/>. [Consultado el 3 marzo de 2018.]
- CONPAPA. Confederación Nacional de Productores de Papa de la República Mexicana (2017). La papa: valor nutritivo y sanidad alimentaria. Disponible en <http://www.conpapa.org.mx/index.php/blog/item/6-la-papa-valor-nutritivo-y-sanidad-alimentaria>. [Consultado el 1 marzo de 2018.]

- Coria, G.N. A., Pérez, P.A., Sarquís, R.J.I., Cantú, S.I., González, R.H., Gómez, M.M.V. (2004). Regeneración de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) in vitro a partir del estalón. *Ciencia UANL*, 7(3): 361-370.
- Degl'Innocenti, E., Guidi, L., Pardossi, A., Tognoni, F. (2005). Biochemical study of leaf browning in minimally processed leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L. var *acephala*). *Journal of Food Science*, 53: 9980-9984.
- Dickinson, E. (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science and Technology*, 9: 347-354.
- Dodds, G.T., Brown, J.W., Ludfort, P.M. (1991). Surface color variations of tomato and other solanaceous fruits during chilling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 116: 482
- Downey, G. (2003). Effects of cryoprotectant mixtures on physical properties of frozen and thawed pureed cooked potatoes: some introductory studies. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 857-868.
- Du, C., Sun, D. (2005). Comparison of three methods for classification of pizza topping using different colour space transformations. *Journal of Food Engineering*, 68(3): 277-287.
- Erickson, M.C., Hung, Y.C. (1997). Cryoprotectants for improving frozen-food quality. En: *Quality in Frozen Food* (MacDonald, G.A. y Lanier, T.C.), Pp. 197-232. USA: Chapman & Hall.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2008). Año internacional de la papa. Disponible en <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html> . [Consultado el 7 diciembre de 2017.]
- Falade, K.O., Solademi O.J. (2010). Modelling of air drying of fresh and blanched sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 278-288.

- Fernández, C., Álvarez M., Canet W. (2008). Steady shear and yield stress data of fresh and frozen/thawed mashed potatoes: effect of biopolymers addition. *Food Hydrocolloids*, 22: 1381-1395.
- Fernández, C., Canet, W., Álvarez, M.D. (2009). The effect of long-term frozen storage on the quality of frozen and thawed mashed potatoes with added cyioprotectant mixtures. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 1373-1387.
- Franck, A. (2002). Funcionalidad tecnológica de inulina y oligofructosa. *British Journal of Nutrition*, 2, 287-291.
- Friedman, M. (1997). Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 1523-1540.
- García-Procaccini., L.M., Monti, M.C., Huarte, M. (2014). Use of chemicals to maintain quality potato minimally processed products. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 18(2): 19.
- Gibson, G.R., Roberfroid, M. (1995). Modulación dietética de la microflora colónica humana: Introducción del concepto de prebióticos. *Journal of Nutrition*, 125, 1401-1412.
- Gil, M.L., Gormy, J.R, Kader, A.A. (1998). Postharvest physiology and quality of Fuji apple slices in response to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience*, 33(2): 305-309.
- Greg, K. (2009). Prebióticos de tipo inulina: una revisión (Parte 2). *Alternative Medicine Review*, 14 (1): 36-55.
- Hasbún, J., Esquivel P., Brenes, A., Alfara, I. (2009). Propiedades físico-químicas y parámetros de calidad para uso industrial de cuatro variedades de papa. *Agronomía Costarricense*, 33(1): 77-89

- Heredia, A., Castelló, M.L., Argüelles A., Andrés A. (2014). Evolution of mechanical and optical properties of French fries obtained by hot air-frying. *Food Science and Technology*, 57: 755-760.
- Lamikanra, O., Watson, M.A. (2001). Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 66: 1283-1286.
- Leach, J.D. (2007). Prebióticos en dietas antiguas. *Boletín de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Functional Foods*, 4 (1): 1-8.
- Lima, A., Leite, B., Meirelles, M., Cristianini, M. (2016). High pressure preprocessing of cocoyam, peruvian carrato and sweet potato: Effect on oxidative enzymes and impact in the tuber color. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 34: 302-309.
- Limbo, S., Piergiovanni, L. (2006). Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 254-264.
- Liu, E., Scanlon, M. (2007). Modeling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 81: 292-297.
- López, M.G., Mancilla-Margalli, N.A., Mendoza-Díaz, G. (2003). Estructuras moleculares de fructanos de *Agave tequilana* Weber var. Azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 7835-7840.
- Maestro, D.R., Borja, P.R. (1993). Actividad antioxidante de las vitaminas C y E y de la provitamina A. *Instituto de la Grasa y sus derivados*, 44: 107-111.
- MacDonald, G., Lanier, T. (1997). Cryoprotectants for improving frozen-food quality. *Quality in frozen food*: 197-232.

- Martínez, H.C., Alemán, P.R. (2006). Papa (*Solanum tuberosum* Sw), cosecha, beneficio y almacenamiento, Caso cubano. *Centro agrícola*, 32: 5-11.
- Moreno, J.D. (2000). Boletín de la papa. Calidad de la papa para usos industriales. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 2: 1-7.
- Moreno, I.M., Rubio, C., Gutiérrez, A.J., Caemán, A.M., Hardisson de la Torre, A. (2007). La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. *Revista de Toxicología*, 24(1): 1-9.
- Muhr, A.H., Blanshard, J.M. (1986). Effect of polysaccharide stabilizers on the rate of growth of ice. *Journal of Food Technology*, 21: 683-710.
- Muños, D.J.A. (1995). Refrigeración y congelación de alimentos vegetales, *Fundación Española de la Nutrición*, Pp 59-68.
- Nicoletti, V.R. (2012). *Biopolymer Engineering in Food Processing*, E.U: CRC Press
- Niness, K. (1999). Inulin and oligofructose: What are they?. *The Journal of Nutrition*, 129, 1402-1406.
- Nourian, F., Ramaswam, H.S, Kushalappa A.C. (2003). Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures. *LWT Food science technology*, 36(1): 49-65.
- Orrego, A.C.E., (2008). *Procesamiento de alimentos*, Colombia: Universidad de Colombia.
- OEIDRUS. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable (2009). Producción de semilla de papa en Baja California. Disponible en [http://www.oeidrusbc.gob.mx/oeidrus\\_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/DocumentoPAPA.pdf](http://www.oeidrusbc.gob.mx/oeidrus_bca/pdf/biblioteca/agropecuaria/DocumentoPAPA.pdf). [Consultado el 2 marzo de 2018.]
- Palou, E., López-Malo, A., Barbosa-Canovas, G.N. Welti-Chanes, J., Swanson, B.G. (1999). Polypehnoxidase activity and color of blanched and high

- hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, 64: 42-45.
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., Sirichakwal, P. (2008). Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal Food Composition Analysis*, 21: 241-8.
- Pastene, E. (2009). Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 6: 449-455.
- Pereira, C.A.P. (2009). Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L\* a\* b\*. *Agronomía Costarricense*, 33(2).
- Polata, H., Wilinska, A., Bryjak, J., Polakovic, M. (2009). Thermal inactivation kinetics of vegetable peroxidases. *Journal of Food Engineering*, 91: 387-391.
- Quispe-Mendoza, L., Betalleluz-Pallardel, I., Vargas-Delgado, L. (2018). Stability of cooked pressed yellow potato (*Solanum goniocalyz*) in frozen storage. *Scientia Agropecuaria*, 9: 123-131.
- Reddivari, L., Hale, A., Miller, J. (2007). Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. *American Journal of Potato Research*, 84: 275-282.
- Reyes De Corcuera J.I., Cavalieri R.P., Powers J.R. (2011). Blanching of foods. *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*.
- Rtisema, T., Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 223-230.
- Roberfroid, M., Van Loo, J., Gibson, G. (1998). The Bifidogenic Nature of Chicory Inulin and Its Hydrolysis Products. *The Journal of Nutrition*, 128:11 -19.

- Retting, M., Ah-ke, K. (2014). Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur*: 4(10).
- Rocha, A., Morais, A. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*, 14: 13-20.
- Rodríguez, G.D., Ríos, M.E. (2010). Amino acid content in traditional potato cultivars from Canary Islands. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23 (2): 148-153.
- Rubio, O., Rangel, J., Flores, R., Magallanes, J., Díaz, C., Zavala, T., Rivera, A., Cadena, M., Rocha, R. Ortiz, C., López, H., Díaz, M., Paredes a 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. México: INIFAP
- SAGARPA. (2010). El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Disponible en [http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/boletinDetalle.php?from=0&accion=buscar&subrutina=pagina\\_1&column=2&busqueda=&orderBy=Boletines.Fecha&order=ASC&fecha=&boletinId=3707443714b7c25fbb51b9](http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/boletinDetalle.php?from=0&accion=buscar&subrutina=pagina_1&column=2&busqueda=&orderBy=Boletines.Fecha&order=ASC&fecha=&boletinId=3707443714b7c25fbb51b9). [Consultado el 2 diciembre de 2017.]
- Saltveit, M.E. (2000). Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biology and Technology*, 21(1): 61-69.
- Semenova, G.M. (2007). Thermodynamic analysis of the impact of molecular interactions on the functionality of food biopolymers in solution and in colloidal systems. *Food Hydrocolloids*, 21: 23-45.
- Scalon, M.G., Roller, R., Mazza, G. (1994). Computerized video image analysis to quantify the color of potato chips. *American Potatoe Journal*, 71: 717-733.
- Serra, H., Cafaro, T. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectora en ojo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41 (4): 525-532.

- Severini, C. Baiano, A., De Pilli, T., Carbone B.F., Derossi, A. (2005). Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal Food of Engineering*, 68: 289-296.
- Singh, R.P., Heldman, D.R. (1984). Introduction to Food Engineering, Academic Press, Nueva York.
- Srdic-Rajic, T., Konic-Ristic, A. (2016). Antioxidants: Role on Health and Prevention. *The Encyclopedia of Food and Health*, 1: 227-233.
- Soliva-Fortuny, R.C., Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O. (2002). Effects of ripeness stage on the storage atmosphere, color, and textural properties of minimally processed apple slices. *Journal of Food Science*, 67(5):1958-1963.
- Suslow, T.V., Voss, R. (2009). Papa: (Cultivo temprano inmaduro). Postharvest Technology Research Information Center. University of California. Disponible en <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/papa.html>. [Consultado el 16 de febrero de 2018.]
- Talburt, W.T., Smith, O. (1987). Potato Processing. Fourth edition, New York, USA: Van Nostrand Reinhold.
- Tomás-Barberán, F.A., Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 853-857
- Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Castañer, M., Artés, F., Saltveit, M.E. (Effect of selected browning inhibitors on phenolic metabolism in steam tissue of harvested lettuce. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45: 583-589.
- Toriz, G., Delgado, E., Zúñiga, V. (2007). A proposed chemical structure for fructans from blue agave plant (Tequilana Weber Azul). *e-Gnosis*, 5.

- Tirilly, Y., Bourgeois, C.M. (2002). *Tecnología de las hortalizas*, Zaragoza, España: Acribia.
- Ullah, J., Pawan S.T., Sablani, S.S. (2014). Efecto de las fluctuaciones de temperatura en el crecimiento de cristales de hielo en papas congeladas durante el almacenamiento. *Food Science and Technology*, 59: 1186- 1190.
- Vereyken, I., Van Kuik, J., Evers, T., Rijken, P., Kruijff, B. (2003). Structural Requirements of the fructan-lipid interaction. *Biophysical Journal*, 84, 3147-3154.
- Villanueva, L. (1990). *Alimentos congelados Procesado y distribución*. Zaragoza, España: Acribia.
- Waterhouse, A.L. (2002). Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 6: 11.11-11.18.