

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



TESIS

**Influencia de la velocidad de congelación en los cambios
cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña
(*Ananas comosus* L.) congelada durante almacenamiento.**

PRESENTADO POR:

Saúl, SANTIAGO SOSA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ASESOR:

Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS

AYACUCHO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A dios por darme la vida, por sus bendiciones y darme perseverancia y permitirme alcanzar este logro.

A mis padres, hermanas, y mis dos niñas Danna y Jharumy, quienes me brindaron motivación constante, por la paciencia y apoyo en todos los momentos de mi vida, y más aún en este largo proceso de elaboración de tesis

Saúl Santiago Sosa

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por acogernos en sus aulas y brindarnos una educación de calidad con docentes exigentes. A toda la plana de docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por sus enseñanzas y orientaciones durante todo el proceso de nuestra formación académica.

En especial a mi asesor de tesis a pesar de las dificultades no nos dimos por vencidos, a mis amigos y todas aquellas personas que con su apoyo y recomendaciones han hecho posible culminar el trabajo de tesis.

Saúl Santiago Sosa

RESUMEN

En la siguiente investigación se tuvo como objetivo general Evaluar la influencia de la velocidad de congelación en los cambios cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña (*Ananas Comosus L.*) congelada durante almacenamiento. Se aplicó una congelación con nitrógeno líquido con inmersión de los trozos de piña y congelación tradicional estático. Los resultados y conclusiones fueron: El estado de madurez de los frutos fue: sólidos solubles $12,17 \pm 1,896$ °Brix, contenido de humedad $84,36 \pm 1,222$ %; $36,51 \pm 10,79$ de vitamina C y acidez total titulable $0,7973 \pm 0,1106$ % (ac. Cítrico). La velocidad de congelación con nitrógeno líquido fue de $2,8$ °C/s y por el método convencional fue de $0,011$ °C/s. La calidad de los trozos de piña fue mejor a velocidad de congelación de $2,8$ °C/s (pérdida por goteo $33,48$ %) y a velocidad de congelación de $0,011$ °C/s fue de pérdida por goteo $68,4$ %). El contenido de compuestos bioactivos a velocidad de congelación de $2,8$ °C/s fue de fenoles totales de $24,65 \pm 0,46$ GAE/g de muestra, flavonoides de $28,15 \pm 0,66$ GAE/g de muestra y Flavonoles de $12,05 \pm 0,04$ respectivamente. Para la velocidad de congelación de $0,011$ °C/s, fue de fenoles totales de $20,75 \pm 0,40$ GAE/g de muestra, flavonoides de $18,45 \pm 0,82$ GAE/g de muestra y Flavonoles de $9,25 \pm 0,14$ respectivamente. La actividad antioxidante a velocidad de congelación de $2,8$ °C/s, fue para el método DPPH de $374,44 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $614,06 \pm 3,38$ ET/g de extracto y FRAP de $864,24 \pm 2,07$ ET/g de extracto; para la velocidad de congelación de $0,011$ °C/s para DPPH fue de $368,11 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $558,12 \pm 2,18$ ET/g de extracto y FRAP de $882,24 \pm 1,07$ ET/g de extracto. La pérdida de Vitamina C para la velocidad de congelación de $2,8$ °C/s fue menor que la velocidad de congelación de $0,011$ °C/s.

Key Word: Congelación con nitrógeno líquido, *Ananas comosus*, actividad antioxidante.

ABSTRACT

In the following investigation, the general objective was to evaluate the influence of the freezing speed on the kinetic changes of bioactive compounds in pieces of pineapple (*Ananas Comosus* L.) frozen during storage. Freezing with liquid nitrogen was applied with immersion of the pineapple pieces and traditional static freezing. The results and conclusions were: The state of maturity of the fruits was: soluble solids $12,17 \pm 1,896$ °Brix, moisture content $84,36 \pm 1,222$ %; $36,51 \pm 10,79$ of vitamin C and total titratable acidity $0,7973 \pm 0,1106$ % (citric acid). The freezing speed with liquid nitrogen was $2,8$ °C/s and by the conventional method it was $0,011$ °C/s. The quality of the pineapple pieces was better at a freezing rate of $2,8$ °C/s ($33,48$ % drip loss) and at a freezing rate of $0,011$ °C/s it was a $68,4$ % drip loss). The content of bioactive compounds at a freezing rate of $2,8$ °C/s was total phenols of $24,65 \pm 0,46$ GAE/g of sample, flavonoids of $28,15 \pm 0,66$ GAE/g of sample and flavonols of $12,05 \pm 0,04$ respectively. For the freezing speed of $0,011$ °C/s, total phenols were $20,75 \pm 0,40$ GAE/g of sample, flavonoids were $18,45 \pm 0,82$ GAE/g of sample, and flavonols were $9,25 \pm 0,14$, respectively. The antioxidant activity at a freezing rate of $2,8$ °C/s, was $374,44 \pm 2,25$ ET/g of extract for the DPPH method; for ABTS of $614,06 \pm 3,38$ ET/g of extract and FRAP of $864,24 \pm 2,07$ ET/g of extract; for the freezing speed of $0,011$ °C/s for DPPH it was $368,11 \pm 2,25$ ET/g of extract; for ABTS of $558,12 \pm 2,18$ ET/g of extract and FRAP of $882,24 \pm 1,07$ ET/g of extract. The loss of Vitamin C for the freezing rate of $2,8$ °C/s was lower than the freezing rate of $0,011$ °C/s.

Key Word: Freezing with liquid nitrogen, *Ananas comosus*, antioxidant activity

GLOSARIO

μL : microlitro

nm : nanómetro

GAE : equivalente de ácido gálico
QE : equivalentes de quercitina
ET : equivalente de Trolox

μL : micro mol

Mm : milimol

ÍNDICE

Contenido	pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 PIÑA.....	9
2.2.1 Composición nutricional.....	11
2.2.2 Capacidad antioxidante.....	15
2.2.3 Vitamina C.....	17
2.2.4 Compuestos fenólicos.....	19
2.2.5 Compuestos polifenólicos.....	20
2.2.6 Flavonoides	20
2.2.7 Antioxidantes.....	22
2.3 CONGELACIÓN DE ALIMENTOS	23
2.3.1 Congelación de frutas	24
2.3.2 Ultracongelación o congelación criogénica.....	25
2.3.3 Velocidad de congelación.....	26
2.3.4 Etapas durante la congelación típica	28
2.3.5 Tiempo de congelación.....	29
2.4 CALIDAD DE ALIMENTOS CONGELADOS	29
2.4.1 Velocidad de congelación sobre los componentes	29
2.4.2 Pérdida por goteo.....	30

III.	MATERIALES Y MÉTODO.....	32
3.1	LUGAR DE DESARROLLO.....	32
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS	33
3.3.3	Soluciones	34
3.3.4	Equipos diversos.....	35
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO	37
3.5.1	Sólidos totales solubles (° Brix)	37
3.5.2	Análisis de humedad (AOAC 2016).....	38
3.5.3	Acidez total (Hajar et al., 2012)	38
3.5.4	Determinación de pérdida por goteo.....	39
3.5.5	Cuantificación de vitamina C	40
	Muestra	40
3.5.6	Fenoles totales	41
3.5.7	Flavonoides	42
3.5.8	Actividad antioxidante.....	43
	Procedimiento:	44
3.6	CONGELACIÓN	46
3.6.2	Congelación domestica.....	47
3.6.3	Congelación por inmersión en nitrógeno.....	49
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	52
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1	CARACTERÍSTICAS DE MADUREZ DE PIÑA	53

4.1.2	Contenido de humedad	54
4.1.3	Contenido de vitamina C	55
4.1.4	Acidez total titulable.....	57
4.2	VELOCIDAD DE CONGELACIÓN.....	58
4.3	CALIDAD DE PIÑA CONGELADA.....	60
4.4	COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	63
4.5	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	67
4.6	VITAMINA C	68
V.	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES.....	72
VI.	REFERENCIAS	73

ANEXOS97

Lista de Tablas

Tabla 1 Principales constituyentes de la piña (por 100 g).	12
Tabla 2 Efecto del tipo de congelación sobre la perdida por goteo en trozos de piña.	61
Tabla 3 Análisis de varianza para perdida por goteo	61
Tabla 4 Resultados de compuestos bioactivos.....	63
Tabla 5 Análisis de varianza para Fenoles totales	65
Tabla 6 Análisis de varianza para flavonoides	66
Tabla 7 Análisis de varianza para flavonoles	67
Tabla 8 Actividad antioxidante en trozos de piña Golden a diferentes velocidades de congelación	67

Lista de Figuras

Figura 1. Piña entera y en trozo	9
Figura 2. Calidad de los alimentos congelados consecuencia de velocidad de congelación.....	27
Figura 3. Formación de cristales de hielo en los tejidos vegetales a un ritmo lento (arriba) y a un ritmo rápido (abajo).	27
Figura 4. Una curva de congelación típica	29
Figura 5. Piña variedad Golden en estado de madurez de consumo.	33
Figura 6. Diseño experimental de investigación.....	36
Figura 7. Medición de sólidos solubles totales en extracto de piña.....	37
Figura 8. Pesado de muestras para análisis de humedad en la piña.....	38
Figura 9. Trozos de piña cortados para la congelación.	46
Figura 10. Montajes experimentales para congelación tradicional.	47
Figura 11. Obtención de datos de tiempo-temperatura de la cámara de congelación- dataloger- laptop.....	48
Figura 12. Trozos de piña congelado en equipo doméstico.....	48
Figura 13. Caja isotérmica para congelación rápida.....	49
Figura 14. Trozos de piña insertados a los termopares del Dataloger.	50
Figura 15. Conexión de Dataloger y equipo laptop.....	50
Figura 16. Finalizado de congelación con nitrógeno.....	51
Figura 17. Trozos de piña congelado con nitrógeno.....	51
Figura 18. Grafica de distribución normal de contenido de sólidos solubles totales en las piñas Golden.	53

Figura 19. Grafica de distribución normal de contenido de humedad en las piñas Golden.	55
Figura 20. Distribución del contenido inicial de ácido l-ascórbico en trozos de piña congelados.	56
Figura 21. Contenido de acidez total (% ac cítrico) en frutos de piña.....	57
Figura 22. Curva de congelación de piña en congelador tradicional.....	58
Figura 23. Velocidad de congelación de trozos de piña (2 cm de arista) congeladas con nitrógeno.....	60
Figura 24. Cambios de contenido de vitamina C en almacenamiento de trozos de piña en función de la velocidad de congelación.....	69

I. INTRODUCCIÓN

La piña (*Ananas comosus L.*) es miembro de la familia Bromeliaceae es originaria de los trópicos americanos. Es uno de los superalimentos ricos en enzima bromelina y nutrientes como vitamina C, minerales, fibras y antioxidantes (Ramallo & Mascheroni, 2012; Yadav & Singh, 2014). La piña se puede consumir fresca o procesada en jugo y enlatada. La piña también se puede deshidratar para incrementar su vida útil, aumentar la calidad comercial y preservar sus nutrientes. Valores experimentales reportados como contenido de fenoles totales (46,91 mgEquivalentes de ácido gálico/100 g), flavonoides totales (48,75 mg de quercetina/ g), ácido ascórbico (51,97 mg/100 g), y actividad antioxidante (95,95%), respectivamente (Sharma et al.,2016).

La piña es un fruto tropical no climatérico que se deteriora rápidamente a condiciones no refrigeradas tanto en estado fresco como cortado (Kader, 2002), tienen una corta vida útil (aproximadamente 7 – 8 días) (Robles-Sánchez et al., 2007), sufren deterioro en su apariencia y sus características sensoriales, fisicoquímicas y nutricionales, siendo necesario, un adecuado manejo de la misma con el fin de prolongar su vida útil (Dussán-Sarria et al., 2014). La estructura de la piña (*Ananas comosus*) es dura y quebradiza, pero se ablanda fácilmente bajo la influencia de altas temperaturas durante el procesamiento (Hien et al., 2022). Sin embargo, su vida útil es limitada por cambios que presenta en el color, la textura, la apariencia, sabores desagradables y el crecimiento microbiano por las condiciones de almacenamiento, y estado de madurez. Como una de las alternativas de solución a esta vida útil corta del

fruto de piña y a la vez la existencia escasa de información al referente, se plantea la siguiente investigación: Influencia de la velocidad de congelación en la calidad (daño celular), contenido bioactivo y actividad antioxidante en trozos de **Piña** (*Ananas comosus*). La congelación es un método convencional más usados para garantizar la vida útil de frutas y hortalizas (Sebastián et al., 2019). En la congelación, se elimina calor latente lográndose la transformación casi completa del agua en hielo, trabajándose a temperaturas medias de -30 °C (Geankoplis, 1982).

El problema

¿Cómo influye la velocidad de congelación en la calidad, contenido bioactivo y actividad antioxidante en trozos de Piña (*Ananas comosus*) congelada?

Problema específico

1. ¿Cuál es la velocidad de congelación de trozos de piña con nitrógeno líquido y congelación doméstica?
2. ¿Cómo influye la velocidad de congelación en la calidad de trozos de piña congelada?
3. ¿Cómo influye la velocidad de congelación en el contenido bioactivo en trozos de piña congelada?
4. ¿Cuál es la influencia de la velocidad de congelación en la actividad antioxidante en trozos de piña congelada?
5. ¿Cómo influye la velocidad de congelación en el contenido de vitamina C durante el almacenamiento de trozos de piña congelada?

Objetivo general

Determinar la influencia de la velocidad de congelación en la calidad, contenido bioactivo y actividad antioxidante en trozos de Piña (*Ananas comosus*) congelada.

Objetivos específicos

1. Determinar la velocidad de congelación de trozos de piña con nitrógeno líquido y congelación doméstica.
2. Determinar la influencia de la velocidad de congelación en la calidad de trozos de piña congelada.
3. Determinar si la velocidad de congelación influye en el contenido bioactivo en trozos de piña congelada.
4. Determinar la influencia de la velocidad de congelación en la actividad antioxidante en trozos de piña congelada.
5. Determinar la influencia de la velocidad de congelación en el contenido de vitamina C durante el almacenamiento de trozos de piña congelada.

Hipótesis general

La velocidad de congelación influye en la calidad, contenido bioactivo y actividad antioxidante en trozos de Piña (*Ananas comosus*) congelada.

Hipótesis específica

1. La velocidad de congelación de trozos de piña con nitrógeno líquido y congelación doméstica es posible determinar.
2. La velocidad de congelación influye en la calidad de trozos de piña congelada.
3. La velocidad de congelación influye en el contenido bioactivo en trozos de piña congelada.
4. La velocidad de congelación influye en la actividad antioxidante en trozos de piña congelada.
5. La velocidad de congelación influye en el contenido de vitamina C durante el almacenamiento de trozos de piña congelada.

VARIABLES

Variable Independiente: Velocidad de congelación

- Indicador: Uso de congelación lenta (doméstica), Uso de congelación rápida

Para la medición de la velocidad baja se usó la congelación lenta (doméstica) y para la medición de la velocidad de congelación rápida se usó la congelación ultrarrápida del uso de nitrógeno líquido.

Variable Dependiente:

- Calidad: Indicador: pérdida por goteo
- Contenido bioactivo: fenoles totales, flavonoides

- Actividad antioxidante: Indicador: métodos (DPPH, ABTS y FRAP)
- Vitamina C: cambios en el tiempo

La calidad del producto congelado se evaluó a través de la medición de pérdida por goteo, que es un indicador del daño celular sufrido como consecuencia del tamaño de los cristales de hielo por el método de congelación usado.

Los compuestos bioactivos evaluados fueron: vitamina C, fenoles totales y flavonoides. La actividad antioxidante fue evaluada por el método DPPH, **ABTS** y **FRAP** como indicadores

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANTECEDENTES

[Kaewtathip & Charoenrein \(2012\)](#) estudiaron “Cambios en los compuestos aromáticos volátiles de la piña (*Ananas comosus*) durante la congelación y descongelación”. El objetivo fue evaluar los cambios en los compuestos aromáticos volátiles de la piña (*Ananas comosus*) durante la congelación y descongelación. Se usaron metodología de análisis HS-SPME-GC- MS. Como resultado se mostró que la variedad de piña Smooth Cayenne tenía 19 compuestos volátiles, en 4 clases de compuestos que incluyen 14 ésteres, 2 hidrocarburos, 2 compuestos que contienen azufre y 1 lactona. Los principales compuestos volátiles característicos de la piña fresca fueron el hexanoato de metilo, hexanoato de etilo, 3-metiltiopropanoato de etilo y 1-(E,Z)-3,5-undecatrieno. Los ciclos de congelación y descongelación se asociaron con la pérdida de algunos compuestos aromáticos volátiles (ésteres) principal característica de las piñas frescas. Se determinó que el proceso de congelación y descongelación causaba daño a los tejidos de la piña debido a la recristalización del hielo y la deshidratación que conducen a la reducción de los compuestos aromáticos volátiles.

[Lv et al. \(2021\)](#) “Efectos de diferentes métodos de congelación sobre la distribución del agua, la microestructura y las propiedades proteicas de la sepia durante el almacenamiento congelado”, tuvo como objetivo estudiar el efecto de diferentes métodos de congelación en los cambios de calidad de calamar durante el

almacenamiento congelado, se trató con seis métodos de congelación (congelación directa en refrigerador, congelación por impregnación con solución salina, congelación plana, congelación continua tipo túnel, congelación por aire), congelación rápida y congelación con nitrógeno líquido y luego fue almacenado a -18 °C durante 90 días. En este estudio, se midió la retención de agua (tasa de pérdida por descongelación, tasa de pérdida centrífuga y pérdida por cocción), pH, contenido de malondialdehído, valor de TVB-N y contenido de sulfhidrilo para evaluar la calidad después de la descongelación. La estructura secundaria de la proteína se midió mediante espectroscopía infrarroja de reflexión total atenuada (ATR-FTIR), la migración de agua se determinó mediante RMN de campo bajo y la microestructura muscular se observó mediante microscopía electrónica de barrido. Los resultados mostraron que, entre los seis métodos de congelación, la congelación con nitrógeno líquido fue la que tenía la retención de agua más alta, el contenido de TVB-N más bajo, el contenido de sulfhidrilo más alto y el rizado menos irregular de la estructura secundaria de la proteína después de 90 días de almacenamiento. Sin embargo, la congelación con nitrógeno líquido causó grietas y roturas en el calamar debido a la fractura criogénica provocada por la temperatura ultrabaja. Los resultados del análisis integral mostraron que la velocidad de congelación por chorro de aire fue más rápida y la calidad de calamar en el proceso de congelación fue mejor.

[Zhu et al. \(2020\)](#) “Efectos de la congelación rápida con nitrógeno líquido sobre las actividades de polifenol oxidasa y peróxido, estados de agua celular y microestructura epidérmica de wolfberry”. El objetivo fue estudiar los efectos de la congelación por pulverización de nitrógeno líquido a diferentes temperaturas como -

60 °C; -80 °C y -100 °C en wolfberry, en comparación con la congelación por chorro de aire a -40 °C a una velocidad del aire de 0,75 m/ s. Los resultados mostraron que el tiempo de congelación que pasa por la zona de máxima formación de cristales de hielo fue de 450, 150, 100 y 70 segundos respectivamente para chorro de aire, NF-60 °C, -80 °C y -100 °C, respectivamente. En comparación con NF-100 °C, las muestras de NF-80 °C mostraron una mejor apariencia, menor actividad de peroxidasa, una distribución de agua más similar a las muestras frescas y menor daño a la estructura celular epidérmica interna.

[Lebón Santos \(2015\)](#) estudió “Efecto del envasado en atmósfera modificada sobre la vida útil y calidad de piña procesada congelada”. El objetivo general de este trabajo es estudiar el efecto de la atmósfera modificada en el almacenamiento de piña congelada criogénicamente, donde se ha estudiado y comparado el comportamiento físico-químico y microbiológico durante la conservación, de los tratamientos de piña congelada criogénicamente y envasada en atmósfera modificada, piña congelada criogénicamente y envasada en aire, y piña envasada en atmósfera modificada. Los resultados muestran el tratamiento de congelación criogénica sobre el procesado de frutas, en combinación con el envasado en atmósfera modificada, como una buena opción para alargar la vida útil de la piña cortada. También se ha estudiado el efecto de la recongelación mecánica en piña procesada congelada criogénicamente y envasada en atmósfera modificada, no mostrando una mejor calidad físico-química ni microbiológica que la piña procesada congelada criogénicamente y envasada en aire (control).

2.2 PIÑA

La piña (*Ananas comosus*) es una fruta tropical, con buenas características sensoriales como sensación en la boca, sabor, relación acidez/dulzura, color y nutrición. La piña es conocida por ser una buena fuente de vitaminas y antioxidantes. Se descubrieron que la actividad antioxidante de eliminación de radicales libres de la piña es mucho más alta que la del plátano y comparable a la de la guayaba (Alothman et al., 2009). Es un cultivo comercial percedero que crece en abundancia en poco tiempo. Esto requiere proteger la fruta percedera contra la pérdida de calidad durante el almacenamiento y la distribución.

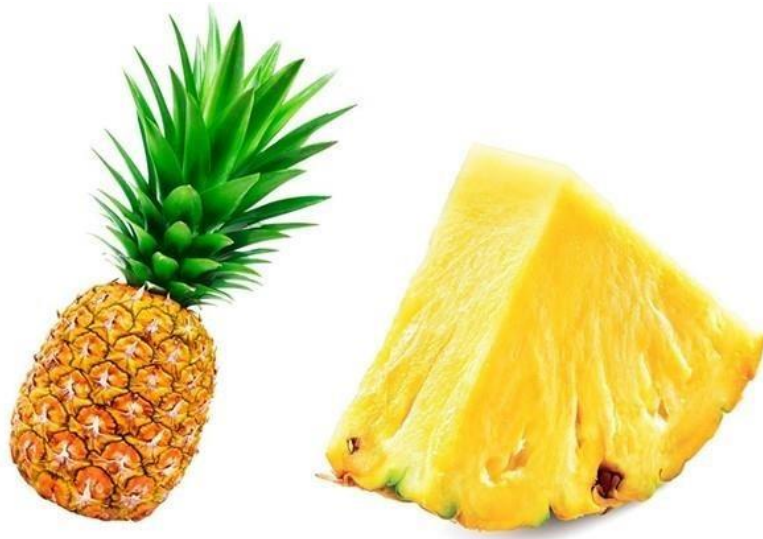


Figura 1. Piña entera y en trozo

La piña es una fruta tropical cultivada en América del Sur, su consumo puede ser fresca o procesada. Ocupa el tercer lugar en producción de frutas tropicales

después del banano y los cítricos. El mercado de la piña ha crecido significativamente debido a sus atractivos compuestos de sabor y valor nutricional, así como a su alta demanda y precios de venta competitivos ([Abu Bakar et al., 2013](#); [Martínez et al., 2012](#)).

La piña se cultiva principalmente en las regiones tropicales y subtropicales debido al clima templado y la distribución de las lluvias. El cultivo puede dar frutos en una etapa temprana después de la floración, lo que permite la producción durante todo el año ([Shamsudinet al., 2020](#)). La vida útil de las piñas se puede prolongar almacenando la fruta en condiciones y temperaturas de almacenamiento específicas, así como con medidas de manipulación específicas para evitar la contaminación microbiana ([Ismail et al., 2018](#)).

El nivel de madurez, el tipo de cultivo, las condiciones climáticas, así como el manejo poscosecha son varios factores que contribuyen a las propiedades químicas y bioquímicas presentes en la piña ([Chaumpluk et al., 2011](#); [de Ancos et al., 2016](#)). En los últimos años, la piña ha ganado mucha atención por su composición nutricional como alimento funcional. Un estudio anterior de [Lasekan & Hussein \(2018\)](#) identificó que la piña tiene muchos compuestos de éster, incluidos metil-2-metilbutanoato, metilhexanoato, metil-3-(metiltiol)-propanoato, metiloctanoato y 2-metoxi-4-vinilo. El fenol está relacionado con la calidad del sabor de diferentes piñas. Los grados de madurez de las piñas provocan cambios en la composición química y sabor, especialmente durante el almacenamiento.

2.2.1 Composición nutricional

La piña contiene principalmente carbohidratos y agua, es una importante fuente de fibra, azúcar, ácidos orgánicos, vitaminas (ácido ascórbico, niacina y tiamina) y minerales (magnesio, manganeso y cobre) (de Ancos et al., 2016). La piña también contiene una enzimaproteolítica llamada bromelina que ayuda a la digestión y es esencial para los efectos terapéuticos asociados con la bromelina. La bromelina tiene varias aplicaciones potenciales como agente antiinflamatorio, antioxidante, anticancerígeno y cardioprotector (Zdrojewicz et al., 2018). Además, la bromelina en la piña es útil para aliviar los trastornos menstruales, lo que es beneficioso para las mujeres, especialmente durante el embarazo y la menstruación al reducir la acumulación excesiva de agua en el cuerpo (Khalid et al., 2016). Sin embargo, aquellos que toman medicamentos como antibióticos, barbitúricos, benzodiazepinas y antidepresivos deben tener cuidado con el consumo excesivo de piña, ya que tiene efectos secundarios con algunos medicamentos. La composición química y nutricional de la piña, varía en términos de su composición proximal, minerales y vitaminas (Genet, 2017). En la Tabla 1 se presenta un resumen de su composición y nutricional de la piña.

Se observó que los contenidos de fructosa de diferentes cultivares de piña eran relativamente más bajos que otros azúcares. La fructosa reportada en variedad Comte de Paris fue de 31,41 mg/g; en Queensland Cayenne de 13,08 mg/g; en glucosa fue de 13,74 y 33,60 mg/g. La sacarosa fue en las 18 variedades de piña variaron de 49,43 a 89,46 mg/g peso fresco (Sun et al., 2018).

Tabla 1
Principales constituyentes de la piña (por 100 g).

Constituyentes	Pulpa de piña	Jugo de piña
Composición proximal		
Proteína	0.5	0.4
Carbohidratos	11.7	12.1
Grasa	0.5	0.1
Azucares totales	10.5	12.1
Fibra	1.2	0.2
Ceniza	0.3	0.4
Minerales		
Calcio	8	8.1
Magnesio	15	13.6
Potasio	140	134
Hierro	0.17	0.2
Manganeso	0.6	1.2
Sodio	5	5.2
Cobre	0.06	0.04
Fosforo	8.1	9.8
Zinc	0.08	0.08
Vitaminas		
Acido ascórbico	46.1	14
Folato	19.6	23
Niacina	0.3	0.3
Tiamina	0.1	0.1
Riboflavina	0.03	0.02

Fuente: [Genet \(2017\)](#)

La composición fisicoquímica de las variedades de piñas es importante para la calidad y vida útil. Se han realizado diversos trabajos de investigación sobre diferentes variedades de piña como Gold ([Dolhaji et al., 2018](#)), Smooth Cayenne

(Steingass et al., 2020), Red Spanish (Pino, 2013), Shenwan (Wei et al., 2014), MD2 (Steingass et al., 2016) y Morris (Lasekan & Hussein, 2018). La piña es importante por composición fisicoquímica favorable para diferentes usos específicos, que depende en gran medida de la estructura química y condiciones de procesamiento. La composición fisicoquímica de la piña está estrechamente relacionada con sus atributos sensoriales como el aroma (compuestos volátiles) y el sabor (de Ancos et al., 2016). En este sentido, las propiedades que son importantes para predecir la composición fisicoquímica además de las propiedades organolépticas son la acidez titulable, los sólidos disueltos totales (TSS), el pH, el contenido de humedad, la dureza y la claridad de la pulpa (Sánchez-Zapata et al., 2012).

El azúcar soluble en la piña incluye principalmente fructosa, glucosa y sacarosa (Chen & Paull, 2000; Zhang et al., 2006). La dulzura de la piña está relacionada tanto con el contenido total de azúcar como con la composición del azúcar. Zhang et al. (2006) informaron que los principales ácidos orgánicos de la piña eran el ácido cítrico y el ácido málico. El nivel de ácido cítrico fue el más alto, representando el 62% del ácido orgánico total. Le siguió el ácido málico (alrededor del 14%), el ácido tartárico y el ácido acético. Los ácidos oxálico y málico estaban en un nivel perceptible. Los contenidos de azúcar total del grupo de Cayena variaron de 77,59 a 132,29 mg/g de peso fresco (PF), con un contenido promedio de 102,87 mg/g de PF. El contenido total de ácidos orgánicos cambió de 2,87 a 7,07 mg/g, con un valor promedio de 5,16 mg/g. El grupo Queen tenía un contenido promedio de azúcar total ligeramente más alto, pero el contenido promedio de ácidos orgánicos era casi el mismo que el del grupo Cayenne (Sun et al., 2018).

[Sun et al. \(2018\)](#) la diferencia en el contenido de ácidos orgánicos entre las variedades de piña fue significativamente diferente. El contenido de ácido cítrico fue el más alto entre los ácidos orgánicos. 'Tradsrithong' tuvo el índice de ácido cítrico más alto (5,78 mg/g), seguido de 'Shenwan' (4,97 mg/g) y 'Phuket' (4,80 mg/g), mientras que 'Chantaburi' y 'Moris' contenían ácido cítrico mucho más bajo 1,69 mg/g y 1,86 mg/g, respectivamente. El ácido málico presente en las diferentes variedades de piña varió de 0,30 a 1,61 mg/g en variedades de Smooth Cayenne y Tradsrithong. El contenido de ácido en las diferentes variedades de piña varió de 0,50 a 1,32 mg/g peso fresco, las que tenían mayor cantidad fueron 'Shenwan', 'Nanglae', 'Phuket' y 'Queensland Cayenne', mientras los que tenían menor cantidad fueron 'Comte de Paris', 'Moris' y 'Alexandria' ([Cámara et al., 1994](#)) y ([Saradhuldhath & Paull, 2007](#)).

[Li et al. \(2002\)](#) reportaron contenidos fibra dietética soluble de 0,04 g/100 g, fibra dietética insoluble de 1,42 g /100 y fibra dietética total 1,46 g/100 g en la pulpa de 'Smooth Cayenne'. [Ramulu & Udayasekhara Rao \(2003\)](#) reportaron fibra dietética soluble de 0,5 g/100 g, fibra dietética insoluble de 0,5 g /100 y fibra dietética total 2,8 g/100 g respectivamente en 25 diferentes de frutos. [Chang et al. \(1998\)](#) reportó en promedio de 41 frutas frescas muy consumidas en Taiwán de 1,6%.

Las fibras derivadas de la corona y la hoja de la piña son baratas, biodegradables, renovables y están disponibles en abundancia ([Prado & Spinacé, 2019](#)). [Asim et al. \(2015\)](#) reportaron celulosa de 79 a 83 %, lignina de 5 a 15 %, pectina 1 %, hemicelulosa 19 %, cera 2 % y contenido de cenizas 1 %. Como los componentes de fibra predominantes. En cuanto a la fibra dietética de la piña, las

variedades Smooth Cayenne y MD2 tienen un contenido promedio de fibra dietética de aproximadamente 0,5 a 1,5 g/100 g de peso fresco (pf) (de Ancos et al., 2016). Los contenidos de fibra en piña varían mucho según el cultivo de origen geográfico, la variedad y la condición climatológica, etc.

2.2.2 Capacidad antioxidante

Con base en la composición fisicoquímica y los valores nutricionales, la piña puede considerarse como una de las frutas más útiles para la fabricación de compuestos de valor agregado como antioxidantes, ácidos orgánicos, bromelina y compuestos fenólicos. (Barretto et al., 2013) extrajeron compuestos volátiles de la pulpa de la piña para utilizarlos como productos potenciadores del aroma, así como para la producción de esencias naturales. La funcionalidad de los compuestos fitoquímicos y bioactividad funcional están asociados con el metabolismo y prevención de la salud humana (Hossain & Rahman, 2011). Los compuestos bioactivos reportados en la piña son los fenólicos y flavonoides (Lobo & Yahia, 2016).

La piña podemos valorar su calidad por su composición **química y los valores nutricionales**. La composición de la piña depende de muchos factores, como cultivar, clima, suelo, grado de madurez y otros (Mohd Ali et al., 2020). (Hossain & Rahman (2011) reportan los componentes aromáticos como metanol (51 %), acetato de etilo (14 %) y extracto acuoso (3 %), así mismo reportó una buena actividad antioxidante mediante el ensayo de antioxidante del ácido β - caroteno-linoleato a 100 ppm de

concentración. [Antonioli et al.\(2012\)](#) realizaron actividades antioxidantes en piñas mínimamente procesadas tratadas con ácido ascórbico y ácido cítrico.

[Martínez et al.\(2012\)](#) reportaron una buena actividad antioxidante presente en los subproductos de piña, también reportaron el contenido de fibra dietaria entre 69,1 y 81,5 g/100 g en materia seca. [Chiet et al. \(2014\)](#) evaluaron la presencia de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante para tres variedades diferentes de piñas (Josapine, Morris y Sarawak) en estadio de madurez comercial, obteniendo que las piñas Josapine indicaron el mayor contenido total de fenoles y taninos, seguidas por Morris y Sarawak. La capacidad antioxidante evaluado por el método de poder antioxidante reductor férrico (FRAP), donde el cultivar Josapina presentó mayor capacidad reductora.

[Soloman et al.\(2016\)](#) determinaron el contenido de ácido ascórbico y la actividad antioxidante en el cultivar de piña Sarawak en cinco estadios de madurez, obteniendo que conforme se incrementa la madurez la presencia de ácido ascórbico se reduce y la actividad antioxidante se incrementa con la madurez. [Sharma\(2016\)](#) desarrollaron la optimización de parámetros de proceso de piña como temperatura de 68 °C y una velocidad de tornillo de 70,3 rpm, en referencia al contenido fenólico total, flavonoides totales, ácido ascórbico y actividad antioxidante, utilizando la metodología de superficie de respuesta, obteniendo resultados óptimos de fenoles totales (46,91 mg Equivalentes de ácido gálico/100 g), flavonoides totales (48,75 mg de quercetina/ g), ácido ascórbico (51,97 mg/100 g), y actividad antioxidante (95,95%), respectivamente.

2.2.3 Vitamina C

La vitamina C o ácido ascórbico (AA) es el antioxidante no enzimático hidrosoluble más importante del plasma, donde se presenta principalmente como anión ascorbato (AA⁻) y en menor medida como radical ascorbilo (AA^{•-}). y dehidroascorbato aniónico (DHA⁻) ([Villagrán et al., 2019](#)).

La vitamina C tiene dos formas biológicas: la forma reducida, ácido ascórbico, y la forma oxidada, ácido dehidroascórbico ([Han et al., 2022](#)). El ácido ascórbico es un antioxidante clave en el sistema nervioso central ([Nualart et al., 2014](#)), y su deficiencia conduce a anomalías en el desarrollo del cerebro ([Tveden-Nyborg et al., 2009](#)). Además de su papel como antioxidante celular, el ácido ascórbico funciona como cofactor al mantener la disponibilidad de Fe²⁺ a través de la reducción de Fe³⁺, lo que permite la implementación de la oxidación de 5-metilcitosina mediada por enzimas de translocación diez-once (TET) a 5-hidroximetilcitosina en el ADN ([Każmierczak-Barańska et al., 2020](#)).

El ácido ascórbico, o vitamina C, es un antioxidante esencial para la formación y mantenimiento adecuado del material intercelular; puede reducir los efectos nocivos de los radicales libres y promover la absorción de hierro no hemo ([Grosso et al., 2013](#); [Shaik-Dasthagirisheb et al., 2013](#)).

La piña posee buena cantidad de vitaminas. [Achnewhu & Hart \(1994\)](#) determinaron el contenido de vitamina C en diferentes variedades de piña cultivadas

en el estado de Rivers en Nigeria, obteniendo mayor vitamina C en el jugo fresco de *Ananas comosus* de 33,5 mg /100 g, seguido en variedad de *Ananas bracteatus* (30,3 mg /100 g), *Ananas ananassoides* (26,8 mg/100 g), y *Ananas erectifolius* (22,5 mg /100 g). [Ramsaroop & Saulo\(2007\)](#) encontraron que el contenido de vitamina C en la pulpa (MD-2) era de 68 mg/100 g, aunque en la pulpa (Smooth Cayenne), el contenido de vitamina C era solo de 35 mg/100 g [Wisdom et al.\(2009\)](#) informaron que los contenidos de vitamina C de (MD-2), (Sugarloaf) y (Smooth Cayenne) fueron 51,88 ; 42,11 y 21,04 mg/100 ml, respectivamente. [Montero- Calderón et al. \(2010\)](#) reporto vitamina C en (MD-2) entre 305 y 351 mg/kg.

Además de los genotipos, la gran variabilidad en el contenido de vitaminas puede verse afectada por múltiples factores. La piña almacenada a temperatura ambiente durante 2 semanas provocó una reducción de vitamina C del 35 al 41 % ([Achnewhu & Hart, 1994](#)). [Wisdom et al. \(2009\)](#) evaluaron vitamina C en la piña en dos estadios de madurez en el cultivar (MD-2), clasificando la madurez en: M1 (una cuarta parte de la cáscara de color amarillo) y M3 (tres cuartas partes de la cáscara de color amarillo), obteniendo resultados en: (MD-2) de 54,17 mg/100 ml y en M3 fue de 49,59 mg/100 ml. En referencia a las vitaminas A y B₁₂ respecto a la influencia de la estacionalidad fue en el cultivar (Comte de Paris), en verano fueron (0,29 ; 1.94 mg/g) y en invierno (0,12; 0,20 mg/g). Para la vitamina C y B₆ en verano fueron de (15,07; 0,92 mg/g) y en invierno (29,49; 1,94 mg/g). En el contenido de vitamina B₃ en frutos de verano e invierno fueron de 1,25 mg/g y 1,53 mg/g respectivamente. Para el cultivar (Smooth Cayenne), las vitaminas A y B₁₂ en verano (0,29; 1,73 mg/g) e invierno (0,14; 0,17 mg/g). Para vitamina C, B₃ y B₆ en frutas de verano (7,05; 1,04; 0,92

mg/g) e invierno (9,51; 1,03; 1,09 mg/g) respectivamente.

El consumo de este oligoelemento vitamina C se ha asociado con la protección contra el cáncer y las enfermedades cardiovasculares, así como con efectos beneficiosos sobre el sistema inmunitario del organismo (Grosso et al., 2013). Los beneficios para el organismo son principalmente la captación de radicales libres y compuestos reactivos del oxígeno, además, promueven la formación de colágeno en el organismo y previenen la formación del compuesto N-nitroso (nitrosamina cancerígena). biosíntesis de catecolaminas y carnitina y protege contra la oxidación del colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Grosso et al., 2013).

2.2.4 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son ubicuos en los órganos de las plantas. Son metabolitos secundarios que consisten en un anillo aromático con diferentes grados de hidroxilación (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Los fenólicos se derivan de precursores biosintéticos como piruvato, acetato, aminoácidos aromáticos como fenilalanina y tirosina, acetyl CoA y malonil CoA siguiendo a las pentosas fosfato, shikimato y vías metabólicas de los fenilpropanoides (Randhir et al., 2004). Los compuestos fenólicos que se encuentran en las bebidas a base de hierbas incluyen ácidos fenólicos, cumarinas, flavonoides, taninos, lignanos y ligninas (Chandrapala & Leong, 2015).

Los compuestos fenólicos se clasifican en grupos según su estructura química,

como flavonoides, ácidos fenólicos y taninos (Otero et al., 2009). La actividad antioxidante y los efectos anticancerígenos y antimutagénicos de los compuestos fenólicos han sido ampliamente reportados (Malta et al., 2013; Plaza et al., 2014). Su acción antioxidante se atribuye a la reducción del poder del grupo hidroxilo aromático además de quelar los metales de transición (de Quirós & Costa, 2006; Denardin et al., 2015). Los carotenoides, que son pigmentos liposolubles, pueden actuar como antioxidantes naturales, protegiendo a las células contra las especies reactivas del oxígeno y los radicales libres, actuando principalmente a través de la absorción de energía que surge del sistema de dobles enlaces conjugados presentes en su estructura (Jomova & Valko, 2013).

2.2.5 Compuestos polifenólicos

Las plantas producen diferentes compuestos secuestrantes y reductores, así como enzimas como defensas antioxidantes para mantener un crecimiento y metabolismo normales (Pandhair & Sekhon, 2006). El consumo de vegetales contribuye a la mejora de la salud humana, por su contenido de compuestos polifenólicos actividad antioxidantes de las hortalizas.

2.2.6 Flavonoides

Los flavonoides son sustancias bioactivas que se encuentran naturalmente en varias plantas, especialmente en frutas, verduras y otros alimentos (Roy et al., 2022). Hay siete subclases principales de flavonoides basadas en diferencias estructurales

con varios compuestos principales: chalconas, isoflavonas, flavonoles, flavonas, flavanonas y antocianinas (Parmar et al., 2020; Shen et al., 2022).

Los polifenoles químicos dietéticos más frecuentes, los flavonoides, tienen muchos efectos biológicos, que incluyen actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antibacterianas y antiapoptóticas que reducen el riesgo de cáncer, enfermedades cardíacas y otros trastornos (Wen et al., 2021). Diversos trastornos oculares, como cataratas, glaucoma, AMD y retinopatía diabética, se benefician de flavonoides en términos de salud (Khoo et al., 2019; Parmar et al., 2020).

Los compuestos polifenólicos, caracterizados por su estructura benzo- γ -pirano, se encuentran ampliamente distribuidos en plantas como glucósidos (Cartaya y Reynaldo, 2001). Algunos flavonoides protegen contra la oxidación UV y también transportan hormonas (Estrada-Reyes, Ubaldo-Suárez y Araujo-Escalona, 2012). Las flavonas y los flavonoles se encuentran en muchas verduras y son flavonoides; forman parte de los pigmentos amarillos de las plantas, aunque esto suele deberse a los carotenos (Cartaya y Reynaldo, 2001).

Los flavonoides se sintetizan por condensación de un compuesto fenilpropanoide con tres moléculas de malonil coenzima A. Esta reacción es catalizada por la enzima chalcona sintasa que conduce a la formación de chalconas. Posteriormente, las chalconas se ciclan en condiciones ácidas para formar flavonoides (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Existen diferentes subclases de flavonoides, a saber, flavonas, flavonoles, flavanonas, flavonoles, isoflavonas,

antocianidinas y flavanoles. Las flavonas y los flavonoles están presentes como agliconas en los alimentos (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Tienen estructuras de anillo C similares con un doble enlace en las posiciones 2–3. Las flavonas carecen de un grupo hidroxilo en la tercera posición (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). Flavonoles (quercetina, kaempferol y miricetina), flavonas (luteolina, apigenina y crisina), flavanoles (catequina, epicatequina, epigallocatequina, galato de epicatequina y galato de epigallocatequina), flavanonas (naringenina, hesperitina y eriodictiol), antocianidinas (cianidina, malvidina, peonidina, petunidina, pelargonidina y delphinidina) e isoflavonas (genisteína, daidzeína y gliciteína) son los flavonoides que se encuentran comúnmente en la dieta humana. Los flavonoides, a saber, la catequina, la quercetina, el kaempferol, la rutina, la apigenina y la isorhamnetina son componentes de las infusiones acuosas de flores, hojas y semillas del condensado de *Sideritis* (Kara et al., 2014).

2.2.7 Antioxidantes

Los antioxidantes son conocidos por su capacidad para inhibir o retrasar la oxidación de otras moléculas en los alimentos y los sistemas biológicos. Son protectores contra el estrés oxidativo a través de diferentes mecanismos y modos de acción que a menudo son independientes de su efecto antioxidante y pueden ejercer sus efectos de manera cooperativa a través de varios mecanismos. Estos modos de acción incluyen la eliminación de radicales libres, la extinción de oxígeno singlete, la inactivación de peróxidos y otras ERO, la quelación de iones metálicos, la extinción de productos de oxidación secundarios y la inhibición de enzimas prooxidativas, entre

otros ([Shahidi & Ambigaipalan, 2015](#)).

Los antioxidantes están naturalmente presentes en muchos alimentos. Además, se pueden sintetizar, de manera similar a sus contrapartes naturales, como las vitaminas C y E sintéticas. Los antioxidantes sintéticos generalmente contienen un anillo fenólico y uno o más sustituyentes hidroxilo. Los antioxidantes sintéticos que todavía se utilizan en la industria alimentaria incluyen el hidroxianisol butilado (BHA), el hidroxitolueno butilado (BHT), el galato de propilo (PG) y la terc-butilhidroquinona (TBHQ). Sin embargo, existen preocupaciones asociadas con el efecto cancerígeno potencial de algunos de estos antioxidantes sintéticos en altas concentraciones en modelos animales, lo que limita su uso en aplicaciones alimentarias y el deseo de los consumidores de tener productos de etiqueta verde sin aditivos sintéticos ([Shahidi & Ambigaipalan, 2015](#)).

2.3 CONGELACIÓN DE ALIMENTOS

La refrigeración y la congelación son métodos tradicionales usados para garantizar la vida útil de los alimentos. En la refrigeración se elimina el calor sensible y metabólico, reduciéndose la temperatura hasta un valor entre 4 – 7 °C. En la congelación, por el contrario, se elimina calor latente lográndose la transformación casi completa del agua en hielo, trabajándose a temperaturas medias de -30 °C ([Geankoplis, 1982](#))

La congelación es uno de los principales métodos de conservación de frutas y

conservación a largo plazo. Conserva el valor sensorial (color y sabor), el valor nutricional y la calidad microbiana de la mayoría de las frutas ([Ancos et al., 2012](#)).

El proceso de congelación reduce la temperatura de los alimentos hasta que su centro térmico (lugar del alimento con la temperatura más alta al final de la congelación) alcanza los -18°C , con la consiguiente cristalización del agua, principal componente de los tejidos vegetales. El agua constituye del 85 al 90% de la composición de la fruta ([Ancos et al., 2012](#)).

[Bilbao-Sainz et al. \(2019\)](#) La congelación es el proceso de conservación más común porque reduce el valor nutricional de los alimentos al inhibir el crecimiento microbiano, reducir las reacciones de deterioro en la matriz alimentaria y, por lo tanto, prolongar la vida útil. vida útil de los alimentos.

Durante el almacenamiento, hay un cambio lento y progresivo en la calidad organoléptica, que no se vuelve objetable por algún tiempo ([Sebranek, 2019](#)). La pérdida de calidad de los alimentos congelados depende principalmente de la temperatura de almacenamiento, el tiempo de almacenamiento y el procedimiento de descongelación. El crecimiento microbiano se detiene por completo por debajo de los -18°C , y los cambios enzimáticos y no enzimáticos continúan a un ritmo mucho más lento durante el almacenamiento en congelación ([Moharram & Rofael, 1993](#)).

2.3.1 Congelación de frutas

La congelación de la fruta tiene como finalidad conservar su calidad, se aplica principalmente a frutas de textura fina y de fácil manipulación y transporte, con el objetivo seguro de evitar daños físicos y pérdidas de calidad ([Veberic et al., 2014](#)).

Según [Neri et al.\(2020\)](#), las frutas congeladas a escala industrial son más adecuadas para hacer mermeladas, jugos y postres, después de la descongelación, la estructura y la texturade las frutas cambian drásticamente, debido a la pérdida de flujo, ablandamiento y oscurecimiento

El deterioro de la textura de la fruta está estrechamente relacionado con el daño a la estructura celular de los alimentos, y este parámetro se ve afectado principalmente por el manejo inadecuado del proceso de congelación, es decir, si el mismo alimento se congela y descongela varias veces antes de usarlo ([Alvarez Beltrán, 2021](#)).

La congelación es una forma eficaz de conservar los alimentos. Sin embargo, la congelación inadecuada, como la congelación lenta, puede causar daños permanentes a nivel celular, lo que puede reducir la calidad del producto congelado. Se pueden utilizar métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar este tipo de daño por heladas ([Jha et al., 2019](#)).

2.3.2 Ultracongelación o congelación criogénica

Según [Quintero Vásquez y Bonilla Garzón \(2018\)](#), la congelación es el

proceso de enfriar rápidamente los alimentos para alcanzar la temperatura de cristalización en menos de 2 horas; El proceso se considera completo cuando el alimento alcanza una temperatura mínima de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando un ambiente con una temperatura de refrigeración inferior a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta es una técnica innovadora porque permite optimizar el proceso conservando las propiedades sensoriales (principalmente la estructura), ya que la formación de pequeños cristales de hielo en los espacios intercelulares no afecta la estructura celular (García et al., 2017). El correcto funcionamiento de este proceso asegura el mantenimiento de la calidad del producto (Fernández et al., 2017).

2.3.3 Velocidad de congelación

La calidad de las frutas y verduras congeladas depende de la velocidad de congelación, (Jiménez Requena, 2019). Como puede verse en la Figura 4, estos cambios de formación de grietas, pérdida por goteo son defectos comunes en frutas y hortalizas enteras o trozos.

La velocidad de congelación es muy importante en los tejidos vegetales porque determina el tamaño, la forma y el estado de los cristales de hielo, factores que afectan la integridad de la pared celular. Si la velocidad de congelación es muy lenta, se forman lentamente grandes cristales de hielo en el exterior de las células y el agua de las células migra por presión osmótica (Figura 3). Luego, las membranas celulares se dañan durante la descongelación, y la consecuencia de la migración es una importante pérdida por goteo (Ancoset al., 2012).

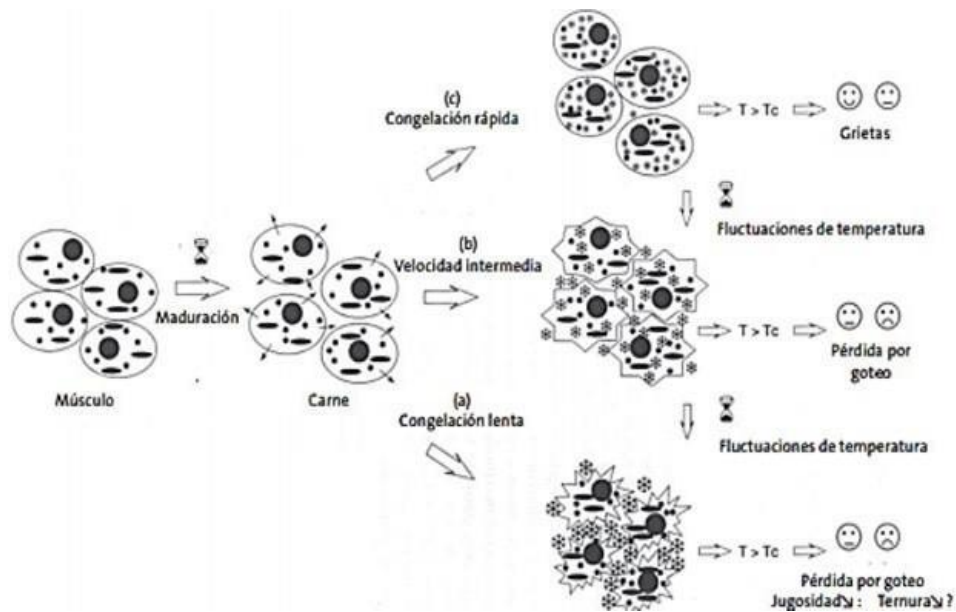


Figura 2. Calidad de los alimentos congelados consecuencia de velocidad de congelación

Fuente: Agoulon (Agoulon, 2012)

La velocidad de congelación es la velocidad a la que el frente de congelación va desde el exterior hacia el interior del producto y depende del sistema de congelación utilizado (mecánico o criogénico), la temperatura inicial del producto, el tamaño y forma del envase y el tipo de producto (Ancos et al., 2012).

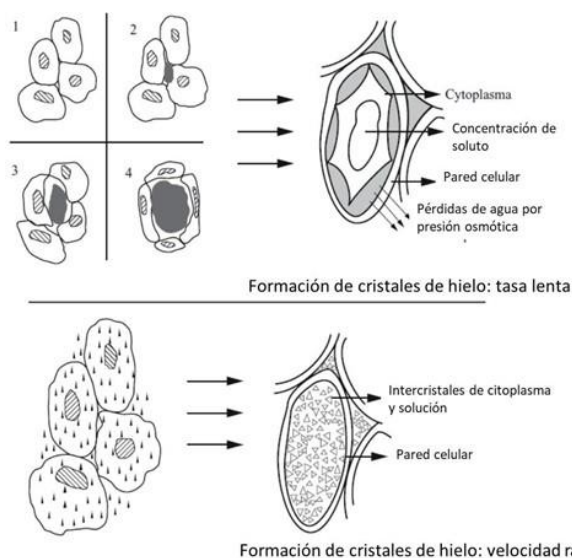


Figura 3. Formación de cristales de hielo en los tejidos vegetales a un ritmo lento (arriba) y a un ritmo rápido (abajo).

2.3.4 Etapas durante la congelación típica

Las principales etapas de un proceso típico de congelación (Figura 4) son:

a. Preenfriamiento: Consiste en bajar la temperatura del alimento hasta la temperatura en la que comienza la transición de fase (Dincer, 2023). b. Nucleación: En este proceso, los átomos en fase líquida se unen para formar un núcleo que, aunque pequeño, es muy estable. Depende del grado de subenfriamiento, porque a medida que aumenta el grado de subenfriamiento, también aumenta la tasa de nucleación y viceversa (Khudyakov et al., 2019). La temperatura de codificación es la temperatura más baja que alcanza el alimento durante el enfriamiento antes de congelarse (Comandini et al., 2013). c. Fase de cambio de fase: En esta fase del proceso, el agua en los alimentos cambia de forma líquida a sólida y forma cristales de hielo. Comienza en el punto de congelación del alimento y continúa hasta que la temperatura en el interior del alimento alcanza los -5°C relativos a este punto (Dincer, 2023). d) Sobreenfriamiento: Es el nombre que se le da al descenso de temperatura por debajo del punto de congelación alcanzado durante el enfriamiento. y. Fase de Templado: En esta fase, el alimento se enfría a la temperatura de almacenamiento, normalmente -18°C (Dincer, 2023).

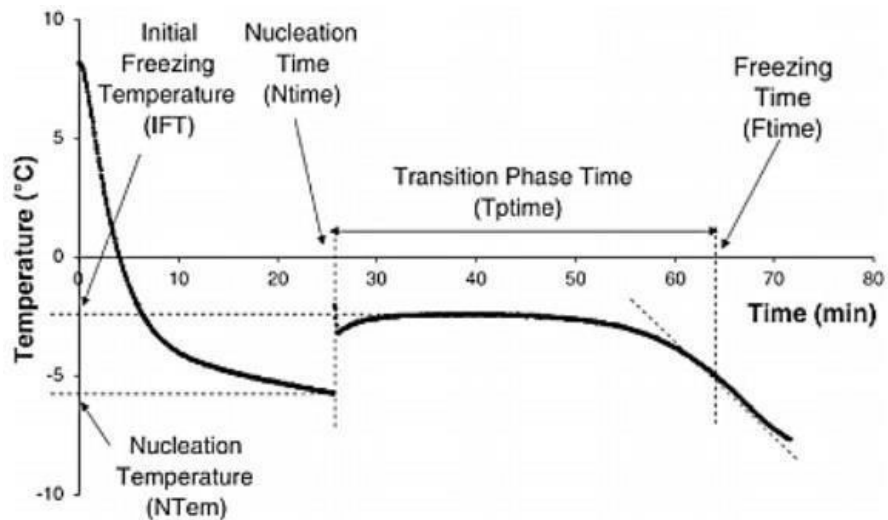


Figura 4. Una curva de congelación típica

Fuente: [Comandini et al. \(2013\)](#).

2.3.5 Tiempo de congelación

[Chaves & Zaritzky \(2018\)](#), definieron el tiempo de congelación como el valor requerido para que el producto alimenticio reduzca su temperatura a la cantidad deseada, que debe ser el tiempo óptimo de almacenamiento para cada alimento. Este tiempo dependerá de varios factores como el tipo y forma de los alimentos, las temperaturas de inicio y final, el sistema de refrigeración, etc.

2.4 CALIDAD DE ALIMENTOS CONGELADOS

2.4.1 Velocidad de congelación sobre los componentes

Los cambios en los alimentos durante la congelación pueden ser físicos, como

el volumen celular, el movimiento del agua, el daño mecánico y el agrietamiento, la quema y la recristalización del hielo. Los cambios químicos pueden ser enzimáticos, desnaturalización de proteínas, oxidación de lípidos y pérdida de vitaminas. La velocidad de congelación puede afectar los cambios en la concentración de solutos y la degradación del contenido celular durante la congelación (Sun et al., 2005).

Chaovanalikit y Wrolstad (2004) determinaron una pérdida del 50 % de fenoles totales en cerezas almacenadas a -23 °C durante seis meses. Según investigaciones (Poiana et al., 2010), la capacidad antioxidante de varias frutas disminuyó cuando se congelaron (-18 °C).

2.4.2 Pérdida por goteo

La medición de pérdida por caída es uno de los métodos más simples y más utilizados para evaluar el daño por congelación en frutas y verduras. En pocas palabras, la pérdida de gotas es una medida de la pérdida de contenido celular en la matriz celular (Jha et al., 2019). Las pérdidas de gotas dependen de la tasa de congelación (determina el tamaño y la ubicación de los cristales de hielo) y la tasa de fusión (Van Buggenhout et al., 2006). En general, las velocidades de congelación más lentas promueven una mayor formación de cristales de hielo en la matriz celular, lo que provoca un mayor daño estructural a las células y, en última instancia, una mayor pérdida de gotas. Por el contrario, el método de congelación rápida crea una gran cantidad de cristales de hielo finos en la estructura celular, lo que causa menos daño a la estructura del tejido, lo que resulta en menos fugas del contenido celular. Sin

embargo, las velocidades de congelación muy rápidas (logradas con fluidos criogénicos) también provocan grietas en las muestras que aumentan el goteo (Jha et al., 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 LUGAR DE DESARROLLO

El trabajo fue desarrollado en el laboratorio de Análisis de Alimentos y Centro Experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de huamanga.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población a considerarse fue el fruto de piña

Muestra

Como muestra se usó la piña variedad Golden estados de madurez fisiológica. extraído de los campos de cultivo del distrito de Kimbiri – Cuzco, en el mes de setiembre. Los frutos de piña usadas se pueden observar en la Figura 6.



Figura 5. Piña variedad Golden en estado de madurez de consumo.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 Materiales

- Empaque DoyPack
- Placas petri
- Pera de separación
- Probetas de vidrio de capacidad 10 . 50 y 100 ml
- Fiolas de 100 ml y 250 ml
- Vickers de 50 ml, 150 ml, 600 ml.
- Embudo de Buschner
- Papel aluminio

- Papel filtro Whatman grueso
- Buretas de 5, 10 ml
- Pipetas de 1, 5, 10 ml.
- Tanque thermo flask, con tapa, con nitrógeno líquido

3.3.2 Reactivos y otros

- L- Ácido ascórbico
- 2,6 Diclorofenolindofenol
- Ácido oxálico
- El reactivo Folin-Ciocalteu
- Ácido gálico
- Carbonato de sodio,
- ABTS [2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)]
- Persulfato de potasio,
- Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico, 97%)
- TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina)
- Cloruro férrico
- Fosfato monobásico de sodio
- Cloruro de sodio,
- Hidróxido de sodio

3.3.3 Soluciones

- **Solución de ácido oxálico al 0.5 %**

- **Estándar de trabajo:** Disolver 100 mg de ácido ascórbico en 100 ml de una solución de ácido oxálico al 0,5 % en una fiola de 100 ml. Esta solución contiene 0,1% de ácido ascórbico, es inestable y debe usarse inmediatamente.

- **Solución de 2,6-Diclorofenolindofenol.** Disolver 100 mg de 2,6 diclorofenolindofenol en fiola de 100 ml con agua destilada. Utilizar agua destilada hirviente y enrazar a 100 ml cuando esté fría. Almacenar en un envase de color oscuro y en refrigeración.

3.3.4 Equipos diversos

- Estufa a presión atmosférica: Marca Memmert, modelo UN750 single display.
- Bomba de vacío
- Balanza analítica: marca OHAUS, Analytical Standard, modelo AS200. Capacidad de 200 g, repetibilidad 0,0001g.
- Espectrofotómetro: tipo SPECTRONIC 20, UV-VIS Lambda 35, Perkin Elmer.
- Termocupla: Datalogger CENTER 520 de Rango: -200 ~ 1370 °C (-328 ~ 2498 ° F) y precisión: $\pm 0,1\% + 0,7^\circ \text{C}$) con sistema de conector a PC.

- Medidor de Brix: Atago (Atago, Tokio, Japón): escala 0 – 60 °Brix.
- Congelador doméstico: Congelador Frost Horizontal Electrolux 316 Litros Blanco -EFCC32C2HQW

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado es el que se muestra en la Figura 6 a continuación.

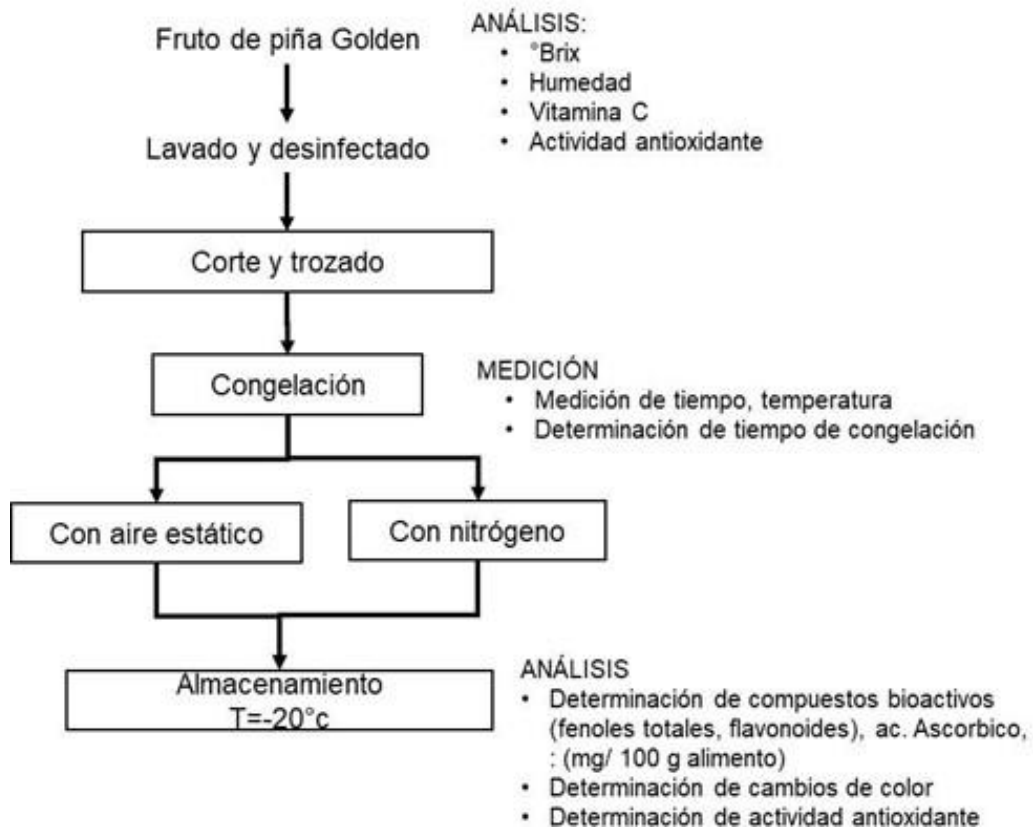


Figura 6. Diseño experimental de investigación.

3.5 CARACTERIZACIÓN DEL FRUTO

- Para conocer el estado de madurez de los frutos de piña, se cuantificaron los siguientes componentes: sólidos solubles, contenido de humedad, acidez total, vitamina C, fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante.
- A los trozos de piña congelados, se realizaron los análisis de: Pérdida por goteo, acidez total, vitamina C, fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante.

3.5.1 Sólidos totales solubles (° Brix)

Los sólidos solubles se determinaron usando un refractómetro (Atago: PR-201 α , escala Brix 0 – 60 % - Japón). Se entrecerró una gota de la solución en el prisma del refractómetro. El porcentaje de sólidos totales se obtuvo de la lectura directa del instrumento. Figura 7.



Figura 7. Medición de sólidos solubles totales en extracto de piña.

3.5.2 Análisis de humedad (AOAC 2016)

Para determinar la humedad de los frutos de piña se usó el método gravimétrico de la [AOAC \(2016\)](#). Como se muestra en la Figura 9, donde previamente se pesó varias muestras (15 muestras) para luego llevar a una estufa a temperatura de 105 °C



Figura 8. Pesado de muestras para análisis de humedad en la piña.

3.5.3 Acidez total ([Hajar et al., 2012](#))

La acidez titulable se evaluó según lo descrito por el método AOAC 962.12. El extracto de piña contiene una serie de ácidos orgánicos, que se neutralizan fácilmente

con bases fuertes y se pueden valorar frente a bases estándar como el hidróxido de sodio. Se tomó una muestra de 10 ml de extracto de piña. Luego, la muestra se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 500 ml. La muestra se diluyó a 250 ml con agua destilada. Usando una solución estándar de hidróxido de sodio 0,1 N, la muestra se tituló hasta el punto final. El punto final se determinó utilizando un indicador de fenolftaleína. Se añadió un ml de indicador de fenolftaleína a la muestra y se tituló hasta que se observó un punto final rosa pálido. Se registró el volumen de hidróxido de sodio 0,1 N utilizado. La acidez total puede calcularse mediante la ecuación y expresarse como concentración de ácido cítrico (g/l). La medición se repitió al menos tres veces. El porcentaje de ácido cítrico se calculó según la siguiente expresión:

$$\% \text{ de ácido (ac. cítrico anhidro)} = \frac{\text{mL de NaOH } 0.1\text{N} * 0.64}{10} \quad (1)$$

3.5.4 Determinación de pérdida por goteo

Se utilizó el método (Bilbao-Sainz et al., 2019): las muestras se cortaron por la mitad. Cada trozo de piña se colocó en un tubo de centrifuga de plástico de 5 ml y se dejó descongelar. Luego se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 minutos. Se separó el sobrenadante y se midió el volumen, se pesó el sedimento. La pérdida por goteo (%) se determinó con la ecuación 2.

$$\text{Pérdida por goteo (\%)} = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} * 100 \quad (2)$$

3.5.5 Cuantificación de vitamina C

Para cuantificar se aplicó metodología que fue usada por (Manglano et al., 2003).

Estándar de trabajo

Tome 1 ml de la solución estándar y colóquelo en un matraz Erlenmeyer de 50 ml. Añadir 30 ml de solución de Ac. Ácido oxálico al 1%. Titular con solución de 2,6-diclorofenolindofenol. El final de la titulación se indica mediante un leve cambio de color rosa; color que debe durar 10-15 segundos. Las lecturas más largas dan un color ligeramente más rosado, lo cual es una fuente de error. La solución de 2,6-diclorofenolindofenol debe estandarizarse diariamente. Cálculo del equivalente de ácido ascórbico por mililitro de solución de 2,6-diclorofenolindofenol:

$\underline{1}$ mg de ácido ascórbico equivale a \underline{Y} mL de solución 2,6- diclorofenolindofenol.

Muestra

Coloque 40 g de la muestra en el homogeneizador. Añadir 200 ml de solución de ácido oxálico 1,5 al homogeneizador y disolver durante cinco minutos. La mezcla se puede centrifugar o filtrar. La solución filtrada se coloca en un matraz Erlenmeyer. Si la muestra fuera de color oscuro (rosado o rojo intenso), lo que dificultaría la determinación, agregue 1 % de carbón activado a la muestra filtrada y agite durante

media hora, luego continúe filtrando. Pipetee 30 ml de la solución filtrada en un matraz Erlenmeyer de 50 ml y titule rápidamente a rosa con solución de 2,6-diclorofenolindofenol (registrar el gasto). Realice una titulación cero con 30 ml de solución de ácido oxálico al 1% y reste este valor del valor de las otras titulaciones. Calcular el contenido de ácido ascórbico según la siguiente fórmula:

$$\frac{mg \text{ ac. ascorbico}}{100 \text{ g muestra}} = \frac{Gasto * T * 100}{W} \quad (3)$$

Donde:

- Gasto: mL de 2,6 – diclorofenolindofenol utilizados para titular una alícuota de muestra.
- T: equivalente en ácido ascórbico de la solución del 2,6 diclorofenolindofenol expresado en mg por mL de colorante.
- W: gramos de muestra en la alícuota analizada.

3.5.6 Fenoles totales

Se usó la metodología aplicada por ([Farahani et al., 2019](#)), consta de:

Extracción: Para la extracción, las muestras secadas previamente (1 g) se homogeneizaron con 10 ml de metanol al 80 % y las mezclas se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min. Los sobrenadantes se recogieron y analizaron para ensayos de actividad antioxidante y fenoles totales.

Fenoles totales: Los contenidos de fenoles totales de los extractos de frutas se midieron utilizando el método del reactivo de Folin-Ciocalteu por espectrofotometría (Singleton & Rossi, 1965) con algunas modificaciones. En un tubo de ensayo se adicionaron 50 µL de solución de extracto, 800 µL de agua y 100 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (grado analítico, Merck). Se agitó y luego se dejó en reposo por 8 minutos. Posteriormente se adicionaron 50 µL de Na₂CO₃ al 20%. Después de 1 hora en la oscuridad se leyó la absorbancia a 760 nm. Se usaron soluciones de ácido gálico (Sigma-Aldrich®) entre 50 – 500 µg/ml para construir la curva de calibración. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de muestra.

3.5.7 Flavonoides

Se uso la metodología aplicada por (Lin & Tang, 2007). El contenido total de flavonoides fue cuantificado de acuerdo con el método colorimétrico de cloruro de aluminio descrito por (C. C. Chang et al., 2002).

Extracción de flavonoides: se disolvieron alícuota de 0,1 g de muestras de piña, en 1ml de agua desionizada.

Determinación de flavonoide: 0,5 ml de extracto se mezcló con 1,5 ml de alcohol al95 %, 0,1 ml de cloruro de aluminio al 10 % hexahidratado (AlCl₃), 0,1 ml de acetato de potasio 1M (CH₃COOK) y 2,8 ml de agua desionizada. Después de la incubación a temperatura ambiente durante 40 min, la absorbancia de la mezcla de

reacción se midió a 415 nm frente a un blanco de agua desionizada en un espectrofotómetro. Se eligió la quercitina como estándar. Usando una curva estándar de siete puntos (0-50 mg/l). Los datos se expresaron como miligramos de equivalentes de quercitina (QE)/g de piña. Luego, los datos se convirtieron en miligramos de equivalentes de quercitina (QE)/100 g de piña.

3.5.8 Actividad antioxidante

Método DPPH

Las diversas técnicas para evaluar la capacidad antioxidante en alimentos se han descrito diversos, pero aquella que ha recibido una preferencial atención es la técnica que utiliza el radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo conocido por las siglas DPPH ([Goupy et al., 2003](#); [Villaño et al., 2007](#)).

Procedimiento:

A 0,1 mL de cada extracto de las muestras de extracto de piña, se les adicionó 2,9 mL de la solución de DPPH, se agitó vigorosamente y se mantuvo en obscuridad por 1 h. Se registró la absorbancia a 517 nm después de 30 min. Los resultados se expresaron en μmol equivalente de Trolox (ET)/g de muestra.

Método ABTS ([Antezana et al., 2018](#))

Se aplicó la técnica usada por ([Antezana et al., 2018](#)), esta se fundamenta en la cuantificación de la decoloración del radical ABTS⁺, debido a su reducción a ABTS por la acción de antioxidantes presentes en los alimentos. El catión radical ABTS⁺ es un cromóforo azul verdoso que se absorbe a 734 nm y se produce por la reacción de oxidación de ABTS (2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) de amonio con persulfato de potasio. De esta manera el grado de tinción en porcentaje la inhibición del radical ABTS se determina en función de la concentración.

Procedimiento:

En el análisis se utilizaron 100 µL de la muestra y 1 mL de la solución del radical ABTS⁺. La solución del radical ABTS⁺ se preparó mezclando 5 ml de solución ABTS 7 [mM] con 88 µL de solución de persulfato de potasio 140 [mM], posteriormente se diluyó en buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 5) hasta obtener una absorbancia de 0,7 nm aproximadamente. Las mediciones se realizaron a una longitud de onda de 734 nm a los 3 min de reacción y a temperatura ambiente. Se utilizó un lector multimodal Cytation 3, marca BioTek (Vermont, USA). Los resultados se expresaron mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante trolox (0-200 µmol/L) ([Peñarrieta et al., 2008](#)).

Método FRAP ([Antezana et al., 2018](#))

El método FRAP se fundamenta en la reducción del hierro férrico (Fe^{+3}) presente en el reactivo de FRAP hasta la forma ferrosa (Fe^{+2}) por presencia de antioxidantes en los alimentos. Reactivo FRAP: buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) y FeCl_3 . Se genera una coloración azul, de intensa proporcionalidad a la capacidad reductora de la muestra (se genera un complejo ferroso-TPTZ) que puede cuantificarse por colorimetría (593nm) en base a un patrón de sulfato ferroso ([Antezana et al., 2018](#)).

El método FRAP se basa en la reducción del hierro ferroso (Fe^{+3}) presente en el reactivo FRAP a la forma de hierro (Fe^{+2}) debido al contenido de antioxidantes en los alimentos. Reactivo FRAP: tampón ácido acético-acetato de sodio (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) y FeCl_3 . Se produce un color azul, fuertemente proporcional al poder reductor de la muestra (formación de un complejo hierro-TPTZ), que se puede cuantificar por colorimetría (593 nm) con base patrón de sulfato de hierro ([Antezana et al., 2018](#)).

Se utilizaron 900 μL de solución FRAP, 30 μL de muestra y 120 μL de agua destilada. La solución FRAP compuesta por 25 ml de solución buffer ácido acético-acetato de sodio (pH 3,6), 2,5 ml de solución 10 [mM] TPTZ diluida con HCl 40 [mM] y solución 20 [mM] FeCl_3 . Se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm. Para cada lectura se tuvo en cuenta la lectura de la absorbancia de la muestra testigo. La absorbancia final de las muestras se comparó con la curva estándar de Trolox (100-1000 $\mu\text{mol/L}$) disuelto con etanolal 96% ([Peñarrieta et al., 2008](#)).

3.6 CONGELACIÓN

3.6.1 Corte de trozos de piñas

Las piñas después de lavar, desinfectar con hipoclorito de sodio, luego lavado con agua, se procedió a quitar el mechón, y hacer el corte transversal, separación de la corteza y finalmente cortadas en tamaños de 2 cm de arista de la forma cúbica, como se puede observaren la Figura 10, los trozos de piña antes de congelar.



Figura 9. Trozos de piña cortados para la congelación.

3.6.2 Congelación domestica

- a) Para el proceso lento, se acondiciono la cabina del congelador doméstico.
- b) Se insertó los trozos de piña al termopar y fueron colocados en la cabina del congelador doméstico. Figura 11.



Figura 10. Montajes experimentales para congelación tradicional.

- c) Inmediatamente se encendió el equipo Datalogger y la laptop, para la captura de datos, fue cerrado la cabina, la puerta del equipo congelador.

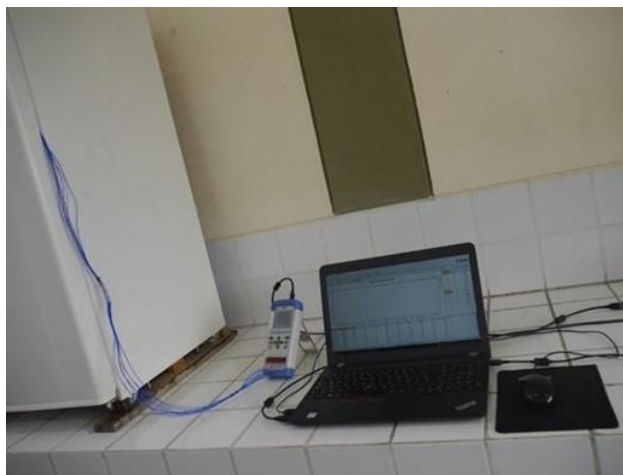


Figura 11. Obtención de datos de tiempo-temperatura de la cámara de congelación- datalogger- laptop.

- d) Finalizado de congelación, cuando las temperaturas de los trozos de piñas fueron igual a la de la cabina, fue finalizado el proceso de congelado.



Figura 12. Trozos de piña congelado en equipo doméstico.

e) Los datos obtenidos fueron procesados en el Excel.

3.6.3 Congelación por inmersión en nitrógeno

1) En la congelación rápida, se utilizó una caja de Tecnopor con tapa acondicionada como reservorio de nitrógeno líquido (Figura 14).



Figura 13. Caja isotérmica para congelación rápida.

2) El tamaño de piña cortado fue de 2 cm de arista, donde en la parte central se insertó termocuplas para hacer la lectura de las temperaturas en el punto frío, Figura 15.

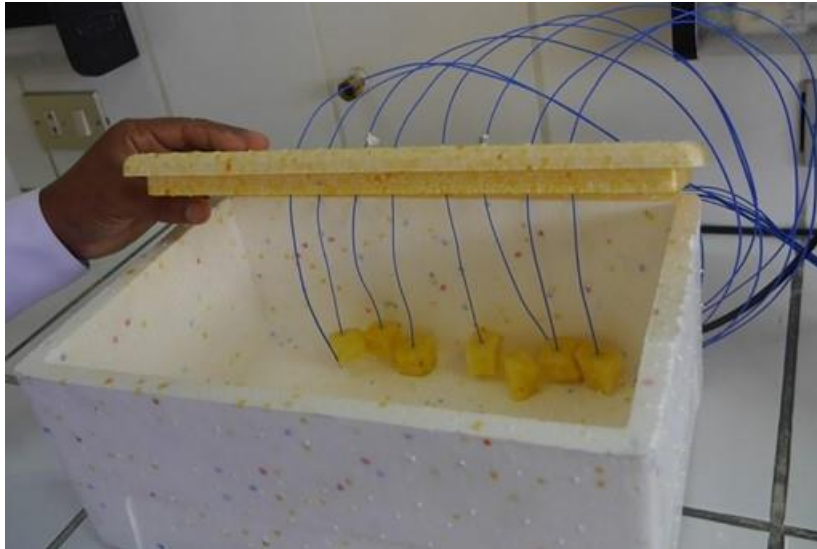


Figura 14. Trozos de piña insertados a los termopares del Dataloger.

- 3) Dentro de la caja se colocó el gas de nitrógeno líquido, hasta un volumen de media altura.
- 4) Fue encendido el Dataloger (previamente configurado para la captura de datos en °C y cada segundo) y conectado a la computadora, para el almacenamiento de datos. Figura 15.



Figura 15. Conexión de Dataloger y equipo laptop.

5) Los trozos de piña insertados con la termocupla, colocados dentro de la caja, Datalogerencendido y laptop también se procede agregar el gas de nitrógeno a la caja de Tecnopor e inmediatamente cerrado la tapa. Inicia la captura de datos cada segundo y registrados en la pantalla de la laptop. Figura 16.



Figura 16. Finalizado de congelación con nitrógeno.

6) Finalizado la congelación la piña fue envasada en empaques DoyPack.
Figura 17.



Figura 17. Trozos de piña congelado con nitrógeno.

7) Los datos registrados en la laptop fueron procesados en el Microsoft Excel.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron determinados usando ANVA de dos factores con una sola muestra por grupo para alfa de 0.05, el diseño estadístico usado fue el diseño completo al azar, para el procesamiento de datos se usó el Microsoft Excel versión 2019 y el software estadístico Minitab versión 18 (Minitab Inc., State College, PA).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS DE MADUREZ DE PIÑA

4.1.1 Sólidos solubles (°Brix)

La madurez de los frutos de piña (*Ananas comosus*) usadas en la investigación, fueron expresadas a través de sólidos solubles que reporto en promedio de $12,17 \pm 1,896$ °Brix. El análisis estadístico de la distribución es mostrado en la Figura 18, donde se observa un valor $p = 0,316 > 0,05$; donde con el resultado podemos afirmar que las muestras usadas presentan una homogeneidad en contenido de sólidos solubles, y no existe diferencia significativa entre el contenido de agua en los frutos de piña usados en la investigación.

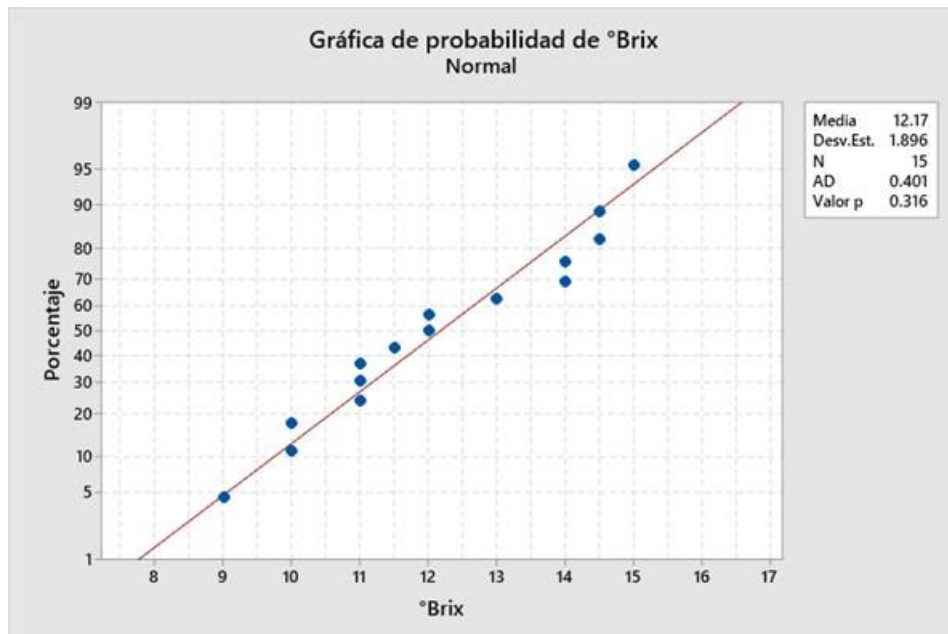


Figura 18. Grafica de distribución normal de contenido de sólidos solubles totales en las piñas Golden.

Los valores del análisis de piña variedad Golden fueron similares a los reportados por: (Zzaman et al., 2021) reporta de 12 ± 0.1 °Brix, en el estudio de aplicación de pretratamientos de inmersión y temperaturas de secado para mejorar la calidad integral de rodajas de piña (*Ananas comosus*); (Difonzo et al., 2019), reporta valores de sólidos solubles totales en jugo de pulpa de $12,57 \pm 0,51$ a $13,07 \pm 0,60$ g/100 g) y en jugo de cáscara prensada y molida de $10,74 \pm 0,46$ a $11,89 \pm 0,35$ g/100 g respectivamente. (Salazar et al., 2019) reporta un contenido de sólidos solubles totales de 13,9 °Brix; (Vargas Serna et al., 2022) reportan de $12,43 \pm 0,38$ y $17,45 \pm 0,40$ (°Brix).

4.1.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio del fruto de piña (*Ananas comosus*) utilizado en la investigación fue de $84,36 \pm 1,222$ % como se muestra en la Figura 19. El análisis estadístico de la distribución da como resultado un valor de $p = 0,179$, que es mayor a 0,05; Finalmente, se puede afirmar que el contenido de humedad de las muestras utilizadas es homogéneo y no existe diferencia significativa en el contenido de agua de los frutos de piña utilizados en el estudio.

Reportados de González-Hoyos et al. (2022) muestran valores de $85,99 \pm 0,02$ % (en base seca de $6,14 \pm 0,12$ g agua/g ms) y a_w de $0,9815 \pm 0,0043$., como también a los reportados por otros investigadores 84,9 % (Salazar et al., 2019) y reportado por Chauhan et al. (2021) un contenido de humedad de $84 \pm 0,5$ % equivalente a 5,25 (kg de agua/kg de masa seca).

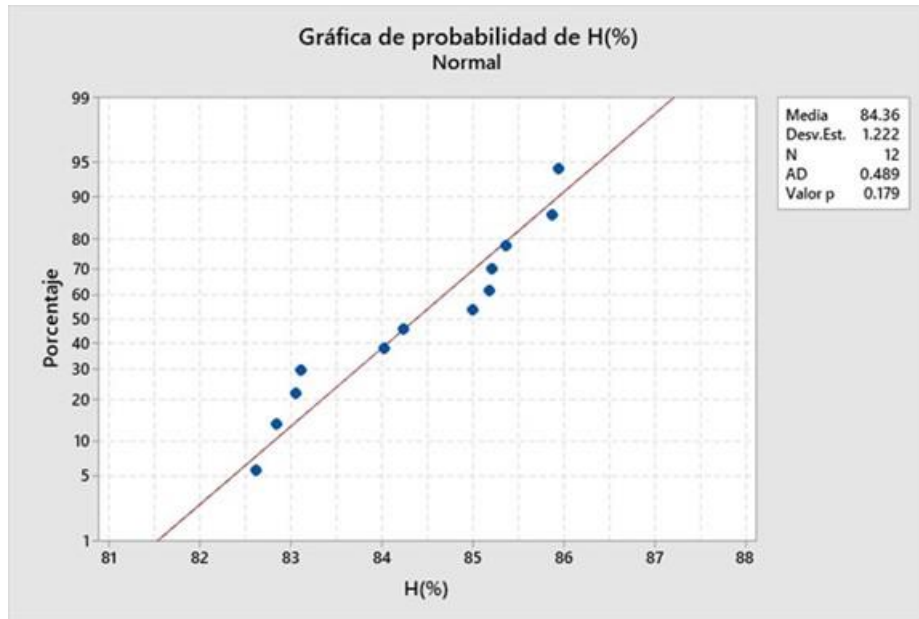


Figura 19. Grafica de distribución normal de contenido de humedad en las piñas Golden.

4.1.3 Contenido de vitamina C

El contenido de vitamina C en trozos de piña congeladas, justo después de la congelación y antes del almacenamiento en congelación, se observa en la Figura 20. La naturaleza no homogénea de los materiales vegetales se refleja en la variabilidad significativa del valor nutricional inicial, y no significa de correlación con factores de control, como el cultivar, los parámetros ambientales o la madurez en el período de cosecha es posible, debido a que no hay requisitos para la trazabilidad completa del producto.

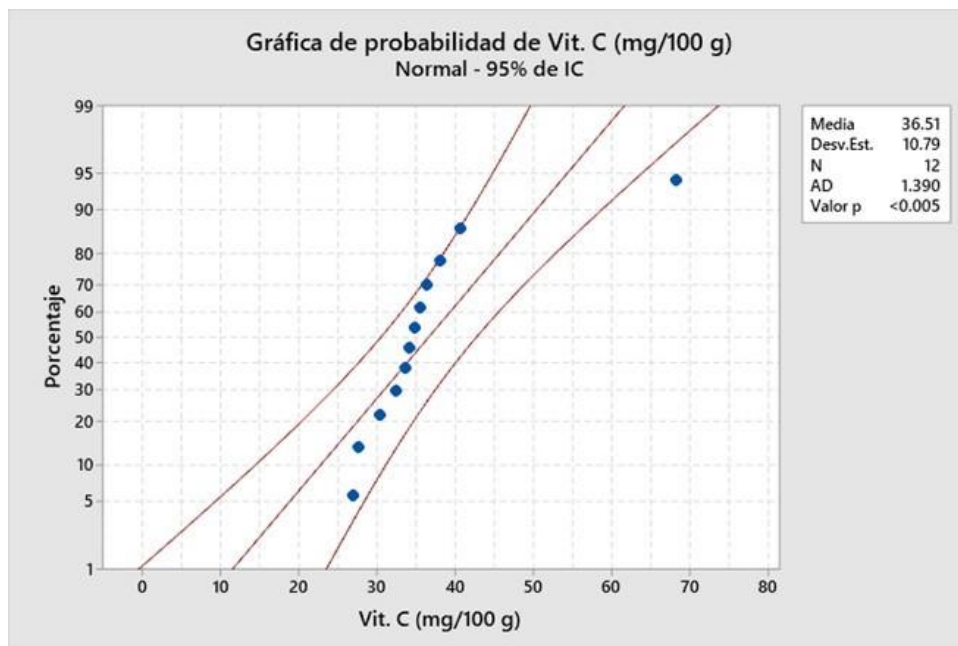


Figura 20. Distribución del contenido inicial de ácido l-ascórbico en trozos de piña congelados.

La falta de homogeneidad dentro de la muestra se presenta un contenido promedio de $36,51 \pm 10,79$ de vitamina C para los trozos de piña congelados. Esto demuestra la necesidad de tener en cuenta al asumir un único valor fijo para el contenido inicial de vitamina C. Estos resultados se asemejan con los reportes de [Achnewhu & Hart \(1994\)](#) reporta de 33,5 mg/100 g, seguido de *Ananas bracteatus* (30,3 mg/100 g), *Ananas ananassoides* (26,8 mg/100 g), y *Ananas erectifolius* (22,5 mg/100 g). [Ramsaroop & Saulo \(2007\)](#) reportaron un contenido de vitamina C en la pulpa de 35 mg/100 g, variedad 'Smooth Cayenne'. [Wisdom et al. \(2009\)](#) reportaron contenidos de vitamina C en 'MD-2', 'Sugarloaf' y 'Smooth Cayenne' de 51,88; 42,11 y 21,04 mg/100 ml, respectivamente. [Montero-Calderón et al. \(2010\)](#) informaron que la vitamina C osciló entre 305 y 351 mg/kg, en variedades 'MD-2'.

4.1.4 Acidez total titulable

La acidez total titulable de la piña (*Ananas comosus*) se observa en la Figura 21 un valor de $0,7973 \pm 0,1106$ % (expresado en ac. cítrico). Resultado del análisis estadístico de la distribución, se tiene un valor p de 0,433 mayor a 0,05; con este resultado estadístico afirmamos que las muestras usadas tienen un contenido homogéneo de acidez y esto representa una madurez homogénea de las frutas de piña usada.

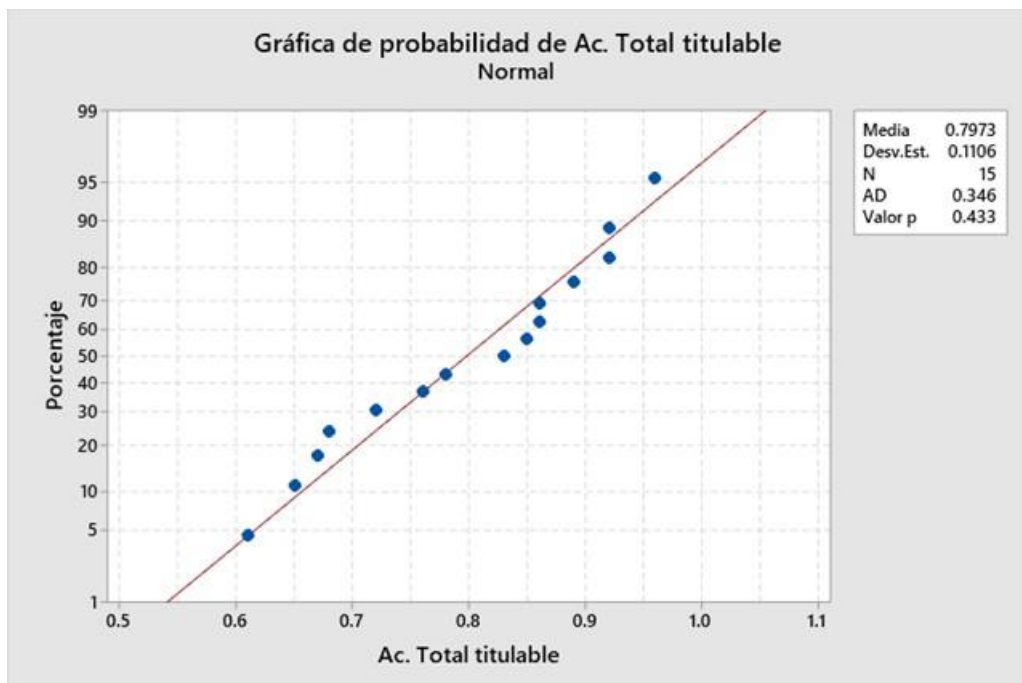


Figura 21. Contenido de acidez total (% ac cítrico) en frutos de piña.

Similares resultados fueron reportados por [Mühlbauer & Müller \(2020\)](#) de 0,6 a 1 %, así mismo es reportado un valor de $1,313 \pm 0,04$ por [Zambrano et al. \(2017\)](#),

valores reportados de $0,59 \pm 0,01$ y $0,85 \pm 0,07$ por Vargas Serna et al.(2022).

4.2 VELOCIDAD DE CONGELACIÓN

4.2.1 Velocidad de congelación baja

La Figura 22, muestra el resultado de las curvas de congelación. Las curvas de congelación para los trozos de piña, muestra una evolución de la congelación, y en el minuto 30 aproximadamente se inicia la congelación. Realizando una aproximación de la curva desde el inicial al tiempo 40 minutos se obtiene una velocidad de $0,011$ °C/s.

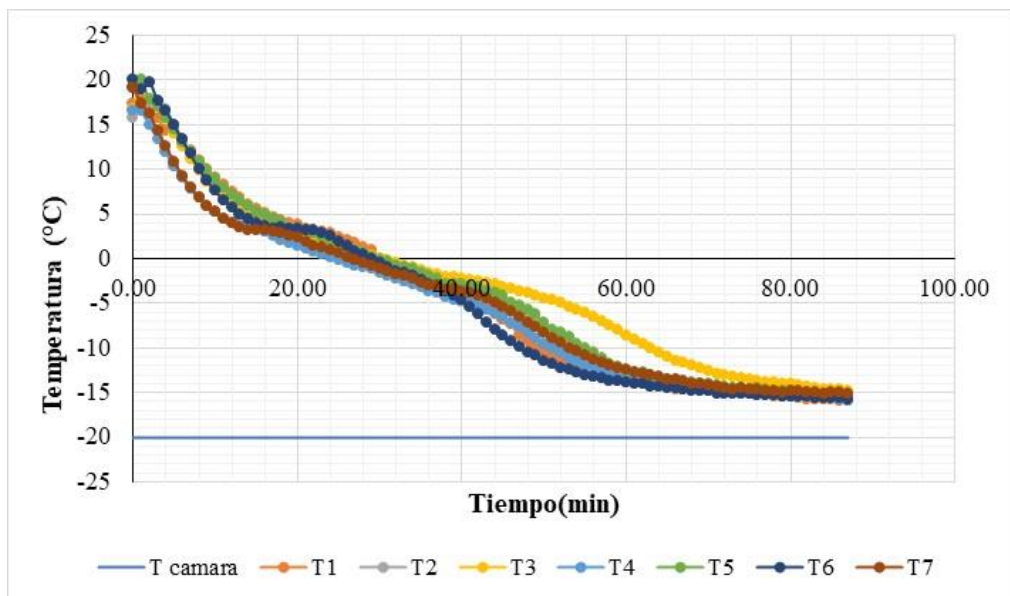


Figura 22. Curva de congelación de piña en congelador tradicional.

Observamos en la curva mostrada en la figura una zona de enfriamiento, una zona de congelación y una zona de estabilización, similar a lo que describe (Singh & Heldman, 2014) en el proceso de congelación de alimentos; durante el periodo de enfriamiento se produce la eliminación de calor sensible conforme desciende la temperatura. También observamos un ligero punto de subenfriamiento por debajo de cero grados. Una vez producido la congelación, se empieza con la formación de los cristales de hielo, manifestándose esto con las curvas de descenso debajo de 0 °C, hasta la congelación final. La temperatura de congelación para frutas y verduras se encuentra en el rango de -1,8 – 2 °C (Singh & Heldman, 2014).

4.2.2 Velocidad de congelación rápida

En la congelación con nitrógeno líquido por inmersión, los trozos de piña presentan un tiempo de congelación en segundos, como podemos observar los resultados en la Figura 24, en ella observamos un tiempo de aproximadamente de 6 segundos para a cero grados y para llegar a -150 °C es aproximadamente de 30 segundos.

La velocidad de congelación tomando de referencia la temperatura inicial del producto y final obtenemos un valor de 2,8 °C/s. un valor mayor a la congelación lenta. Desde el punto de vista termodinámico, el cambio de fase en la congelación de alimentos se manifiesta a temperatura variable, entre la temperatura inicial de congelación y la temperatura de congelación final o técnica (Orrego, 2008; Araujo,2000).

La disminución de la temperatura durante el proceso de congelación se da muy rápidamente, debido a la eliminación del calor sensible y calor latente muy rápidamente

El descenso de temperatura del producto es muy rápido, ya que tanto el calor sensible como el calor latente se eliminan muy rápidamente. Zhao et al. (2019) confirman que la pendiente del descenso de la temperatura en el tiempo es casi lineal, esta forma se justifica por la alta tasa de congelación de los frutos, donde el calor de enfriamiento aceptable es muy pequeño y apenas perceptible.

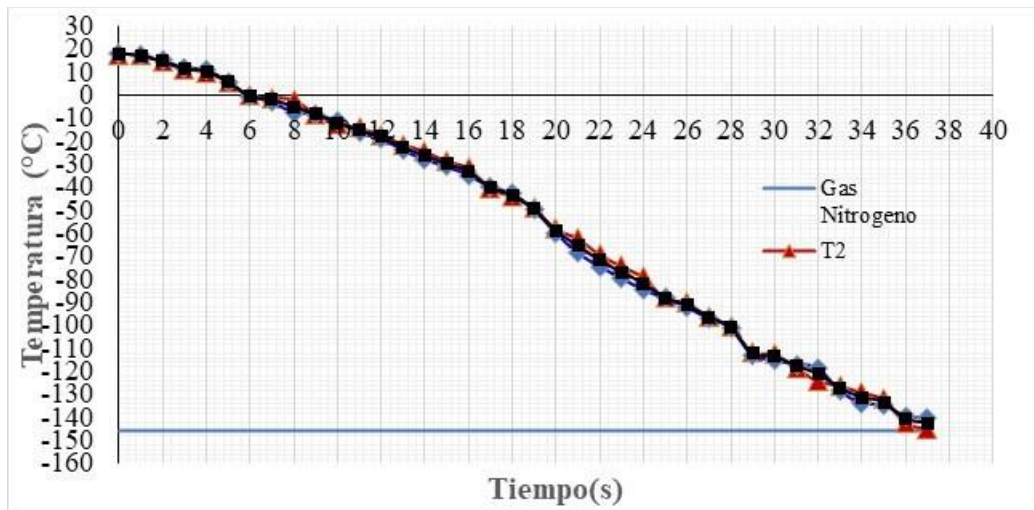


Figura 23. Velocidad de congelación de trozos de piña (2 cm de arista) congeladas con nitrógeno.

4.3 CALIDAD DE PIÑA CONGELADA

4.3.1 Pérdida de líquido por goteo

En la Tabla 2 podemos observar la diferencia del daño celular de las piñas de manera indirecta a través de la pérdida por goteo, en los trozos de piña congeladas a las velocidades de 0,011 °C/s y 2,8 °C/s respectivamente, donde se observa el daño mayor a la velocidad más baja.

Tabla 2

Efecto del tipo de congelación sobre la pérdida por goteo en trozos de piña.

Velocidad de congelación (°C/s)	Perdida por goteo (%)
0.011	68.4 ± 0.55075
2.8	33.48± 0.9644

De acuerdo al análisis de varianza los resultados estadísticos mostrados en la Tabla 3, muestran que existe diferencia significativa entre el congelado a baja velocidad y alta velocidad de congelación para un nivel de significancia de 5%, ósea que la velocidad de congelación tiene efecto sobre la calidad del producto congelado.

Tabla 3

Análisis de varianza para pérdida por goteo

<i>Fuente</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fcal</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F crític</i>
Tratamientos	1721.1041	1	1721.10407	2790.678	7.6859E-07	7.70865
Error	2.46693	4	0.61673			
Total	1723.571	5				

De los resultados podemos afirmar que factor más importante a controlar para obtener un producto con menos daño celular es el manejo de una alta velocidad de congelación en el proceso. Una congelación más rápida produce pequeños cristales de hielo y alimentos congelados de mejor calidad ([Alexandre, Brandão, & Silva, 2013](#); [Ancos, Sanchez-Moreno, De Pascual-Teresa, & Cano, 2006](#); [Sinha, Yh, EÖ, Siddiq, & Ahmed, 2018](#)).

Los alimentos retienen agua en su estructura celular y tienen componentes de tipo hidrocoloide que ayudan a controlar la congelación. Después de que la fruta se congela, el agua puede permanecer o quedarse quieta ([Dincer, 2023](#)). En los tejidos vegetales, el agua filtrada no se encuentra correctamente en las células originales o en las estructuras de pectina. [Campañone et al. \(2005\)](#) muestran que el tipo de congelamiento afecta la pérdida por goteo en fresas. Así, se encontró que el sistema de inmersión en aire resultó en menores pérdidas (53.5%) que congelar el mencionado producto con agua salada (59%) o aire frío (62%).

Similares resultados fueron de [Charoenrein & Owcharoen \(2016\)](#) donde estudiaron la relación entre la pérdida por goteo y la tasa de congelación durante la congelación de mangos. El patrón de pérdida por goteo después de ser sometido a tres protocolos de congelación diferentes (tasas de congelación alta (2,91 /min), media (1,69 /min) y baja (0,05 /min)) fue la siguiente: congelación lenta > congelación media > congelación rápida. De manera similar a [Charoenrein & Owcharoen \(2016\)](#), [Fuchigami et al. \(1995\)](#) reportaron que la cantidad de goteo aumentó a medida que disminuyó la tasa de congelación en zanahorias congeladas.

4.4 COMPUESTOS BIOACTIVOS

4.4.1 Fenoles, flavonoides y flavonoles

El resultado en la Tabla 4, donde observamos resultados para velocidad de congelación de 2,8 °C/s el contenido de fenoles totales fue de $24,65 \pm 0,46$ GAE/g de muestra, flavonoides de $28,15 \pm 0,66$ GAE/g de muestra y flavonoles de $12,05 \pm 0,04$ respectivamente. Para la velocidad de para congelación lenta de 0,011 °C/s. fenoles totales de $20,75 \pm 0,40$ GAE/g de muestra, flavonoides de $18,45 \pm 0,82$ GAE/g de muestra y flavonoles de $9,25 \pm 0,14$ respectivamente. Resultados obtenidos por la metodología de Folin- Ciocalteu, que se basa en la transferencia de electrones de los compuestos fenólicos al reactivo de Folin-Ciocalteu en medios alcalinos (Song et al., 2010).

Tabla 4
Resultados de compuestos bioactivos

Componentes	GAE/g de muestra	
	Congelado a 2,8 °C/s	Congelado a 0,011 °C/s
Fenoles totales	24.65 ± 0.46	20.75 ± 0.40
Flavonoides totales	28.15 ± 0.66	18.45 ± 0.82
Flavonoles	12.05 ± 0.04	9.25 ± 0.14

GAE.: equivalente de ácido gálico

[Sharma et al.\(2016\)](#) reportó valores como $22,5 \pm 0,04$ (mg GAE/g) de fenoles totales, $76,98 \pm 0,03$ (mg QE/100g) de flavonoides y $74,54 \pm 0,1$ (mg/100g) de ácido ascórbico en la partecomestible de la piña, en la cubierta reportó de 22 y 50 mg/g de muestra, superior a la observación realizada por ([Saikia et al., 2016](#)).

[Sun et al. \(2016\)](#) reportan valores de fenoles totales (TP) expresado en equivalente de ácidogálico (GAE) en diferentes genotipos de piña, oscilando entre 25,71 y 72,57 mg GAE/100 g, el genotipo 'MD-2' tuvo un contenido de 72,57 mg GAE/100 g, 'Tainung4' de 65,64 mg GAE/100 g, 'Fresh Premium' de 46,76 mg GAE/100 g, 'Smooth Cayenne ' de 40,42 mg GAE/100 g) y 'Piña roja' de 25,51 mg GAE/100 g. [Alothman et al. \(2009\)](#) reportó valores similares.

[Sun et al. \(2016\)](#) reportaron contenidos de flavonoides totales (FT) expresados en equivalente Rutin en la pulpa, estos valores variaron de 10,40 a 50,57 mg RE/100 g; para 'Ripley' fue el más alto y para 'Tainung17' fue el más bajo. ([Alothman et al., 2009](#)) reportaron flavonoides totales extraído por diferentes solventes entre 1,37 y 4,14 mg equivalentes de catequina/100 g peso fresco.

Las muestras de piña tienen diversos perfiles de ácidos fenólicos, entre los cuales la catequina, la epicatequina y los ácidos sinapínicos fueron los compuestos fenólicos predominantes ([Sun et al., 2016](#)). La diferencia entre los ácidos fenólicos y otros compuestos reportados en varios estudios podría deberse a múltiples factores, como la metodología (procedimiento de extracción, diferentes susceptibilidades a la degradación, tipo de cromatografía y cuantificación), genotipos y ambientes de

crecimiento (Pérez-Balibrea et al., 2011; Ross et al., 2009).

Los ácidos fenólicos determinados cromatográficamente sumados no se correlacionaron con el contenido fenólico total. La diferencia podría deberse a la falta de selectividad del método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. Además, podrían producirse interferencias con otros compuestos (p. ej., compuestos nítricos, sacáridos) durante la determinación del contenido total de fenoles (Siger et al., 2012).

En la Tabla 5 los resultados de comparación de las velocidades de congelación sobre el contenido de fenoles totales en piñas congeladas con nitrógeno líquido y congelación doméstica, estadísticamente los resultados difieren, $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{crítico}}$, de estos resultados podemos decir que existe diferencia significativa entre ambos métodos o velocidades de congelación, para un nivel de significancia de 5%, ósea que la velocidad de congelación tiene efecto sobre el contenido de fenoles totales.

Tabla 5
Análisis de varianza para fenoles totales

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fcal</i>	<i>Valor P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamiento	22.74	1	22.738	98.757	0.00058	7.7086
Error	0.921	4	0.2303			
Total	23.658	5				

En la Tabla 6 los resultados de comparación de velocidades de congelación sobre el contenido de flavonoides en piñas congeladas con nitrógeno líquido y

congelación doméstica, evaluados estadísticamente los resultados difieren, $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{crítico}}$, de estos resultados podemos decir que existe diferencia significativa entre ambos métodos o velocidades de congelación, para un nivel de significancia de 5%, ósea que la velocidad de congelación tiene efecto sobre el contenido de fenoles totales.

Tabla 6

Análisis de varianza para flavonoides

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fcal</i>	<i>Valor p</i>	<i>F crítico</i>
Tratamiento	139.491	1	139.491	600.434	1.6459E-05	7.7086
Error	0.9293	4	0.2323			
Total	140.4201	5				

En la Tabla 7 los resultados de comparación de velocidades de congelación sobre el contenido de flavonoles en piñas congeladas con nitrógeno líquido y congelación doméstica, evaluados estadísticamente los resultados difieren, $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{crítico}}$, de estos resultados podemos decir que existe diferencia significativa entre ambos métodos o velocidades de congelación, para un nivel de significancia de 5%, ósea que la velocidad de congelación tiene efecto sobre el contenido de fenoles totales.

Tabla 7

Análisis de varianza para flavonoles

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor p</i>	<i>F critico</i>
Tratamiento	7.775	1	7.775	69.8443	0.0011	7.70865
Error	0.4453	4	0.11132			
Total	8.2201	5				

4.5 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

En la Tabla 8 se presenta los resultados de actividad antioxidante para los métodos en estudio (DPPH, ABTS y FRAP) en los trozos de piña. Para la velocidad de 2,8 °C/s por el método DPPH de $374,44 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $614,06 \pm 3,38$ ET/g de extracto y FRAP de $864,24 \pm 2,07$ ET/g de extracto; para la velocidad de congelación de 0,011 °C/s de DPPH de $368,11 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $558,12 \pm 2,18$ ET/g de extracto y FRAP de $882,24 \pm 1,07$ ET/g de extracto.

Tabla 8

Actividad antioxidante en trozos de piña Golden a diferentes velocidades de congelación

Método	ET/g de extracto	
	2.8 °C/s	0.011 °C/s
DPPH	374.44 ± 2.05	368.11 ± 2.25
ABTS	614.06 ± 3.38	558.12 ± 2.18
FRAP	864.24 ± 2.07	882.24 ± 1.07

ET: Extracto de trolox

[Sun et al. \(2016\)](#) reportaron valores de DPPH en diferentes genotipos de piña que variaron de 125 a 444 μM Trolox. (Tainung4) tuvo el valor de DPPH más alto, seguido de (MD-2) (351,62 μM Trolox) y (Fresh premium) (240 μM Trolox), mientras que (Shenwan) tuvo el más bajo (125,75 μM Trolox). Los valores de ABTS oscilaron entre 438 y 814 μM Trolox. (MD-2) tuvo el valor ABTS más alto, seguido de (Tainung4) (769 μM Trolox), (Ripley) (683 μM Trolox) y (Fresh Premium) (679 μM Trolox), y (New Phuket) tuvo el más bajo Valor ABTS entre las muestras estudiadas. Para los valores de FRAP oscilaron entre 204 y 969 μM Trolox. El valor FRAP de (Tainung4) fue el más alto, seguido de (Shenwan) (609.4 μM Trolox), (MD-2) (519,5 μM Trolox), (Chenhuang) (429 μM Trolox), (Smooth Cayenne) (424 μM Trolox), y (Piña roja) (404 μM Trolox), mientras que (Comte de Paris) tuvo la capacidad antioxidante más baja entre los extractos.

[Sharma et al.\(2016\)](#) reportó valores actividad antioxidante en términos de eliminación de DPPH de $64,31 \pm 0,02$ (%).

4.6 VITAMINA C

Los cambios en el tiempo de almacenamiento de la vitamina C, podemos observar en los resultados mostrados en la Figura 24. Como observamos las curvas, a la velocidad de congelación 0,011 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ la disminución en el tiempo de

almacenamiento de la vitamina C es cada vez mayor, y este fenómeno podrá ser a los daños que el fruto ha tenido por los cristales grandes de hielo (Miller y Heilman, 1952). Izumi et al. (1984) investigaron el efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento sobre el contenido de vitamina C en diferentes cultivos sensibles al frío y encontraron que el contenido de vitamina C se redujo solo en frutos expuestos a temperaturas perjudiciales para el frío, lo que indica una relación entre la sensibilidad y la expresión. daños por congelación y contenido de vitamina C.

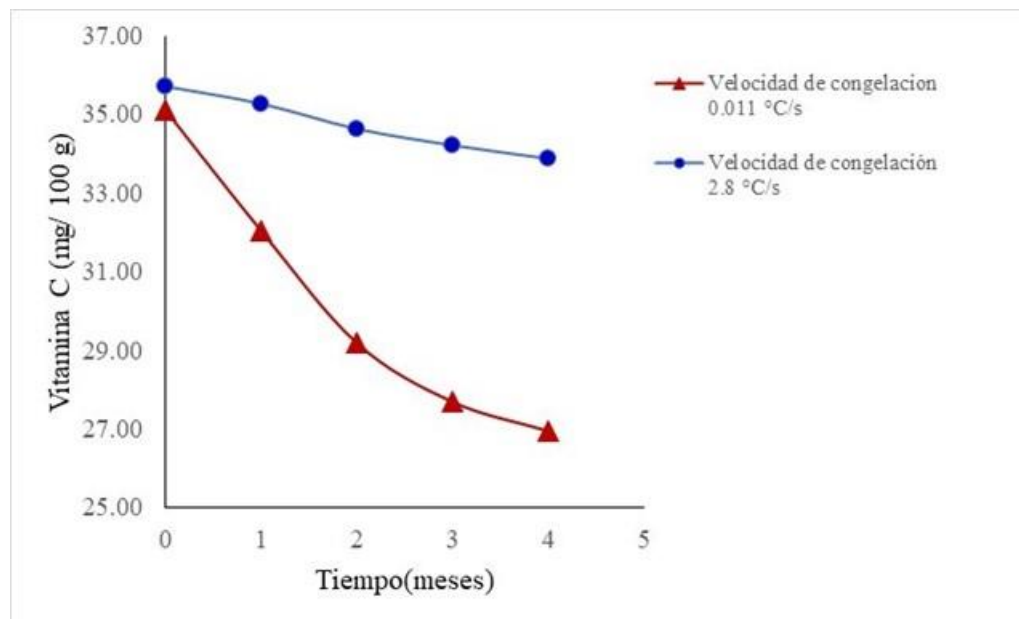


Figura 24. Cambios de contenido de vitamina C en almacenamiento de trozos de piña en función de la velocidad de congelación.

Como se observa la Figura 24 las variaciones del contenido de vitamina C son notorias en los trozos de piña congelados a 2,8 °C/s y 0,011 °C/s de velocidad de congelación, los cambios a alta velocidad de congelación son muy pequeños,

comportamiento similar a lo reportados por (Chaudhary et al., 2014) y (Chebrolu et al., 2012) estudiaron la variación del contenido en vitamina C en zumo de pomelo rojo durante 16 semanas de almacenamiento a 2,9 y 11 °C. En piña, los cambios en el contenido de vitamina C fueron en descenso, este reporte contrasta a lo reportado por (Gil et al., 2006) que después de 6 días de almacenamiento reporta una pérdida de vitamina C hasta del 25 y 10%, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

- 1) La velocidad de congelación con nitrógeno líquido fue de 2,8 °C/s y por el método convencional fue de 0,011 °C/s.
- 2) La calidad de los trozos de piña fue mejor a velocidad de congelación de 2,8 °C/s (pérdida por goteo 33,48 %) y a velocidad de congelación de 0,011 °C/s fue de pérdida por goteo 68,4%).
- 3) El contenido de compuestos bioactivos a velocidad de congelación de 2,8 °C/s fue de fenoles totales de $24,65 \pm 0,46$ GAE/g de muestra, flavonoides de $28,15 \pm 0,66$ GAE/g de muestra y Flavonoles de $12,05 \pm 0,04$ respectivamente. Para la velocidad de congelación de 0,011 °C/s, fue de fenoles totales de $20,75 \pm 0,40$ GAE/g de muestra, flavonoides de $18,45 \pm 0,82$ GAE/g de muestra y Flavonoles de $9,25 \pm 0,14$ respectivamente.
- 4) La actividad antioxidante a velocidad de congelación de 2,8 °C/s, fue para el método DPPH de $374,44 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $614,06 \pm 3,38$ ET/g de extracto y FRAP de $864,24 \pm 2,07$ ET/g de extracto; para la velocidad de congelación de 0,011 °C/s para DPPH fue de $368,11 \pm 2,25$ ET/g de extracto; para ABTS de $558,12 \pm 2,18$ ET/g de extracto y FRAP de $882,24 \pm 1,07$ ET/g de extracto.
- 5) La pérdida de Vitamina C para la velocidad de congelación de 2,8 °C/s fue menor que la velocidad de congelación de 0,011 °C/s.

RECOMENDACIONES

Realizar la congelación por varios métodos más y realizar la variación de actividad antioxidante durante el almacenamiento.

VI. REFERENCIAS

- ABU BAKAR, B. H., Ishak, A. J., Shamsuddin, R., & Wan Hassan, W. Z. (2013). RIPENESS LEVEL CLASSIFICATION FOR PINEAPPLE USING RGB AND HSI COLOUR MAPS. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 57(3).
- Achinewhu, S. C., & Hart, A. D. (1994). Effect of processing and storage on the ascorbic acid (vitamin C) content of some pineapple varieties grown in the Rivers State of Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*, 46(4), 335-337.
- Agoulon, A. (2012). Impacto de los parámetros de congelación en las características de los alimentos. _____ *Barcelona*.
- Alexandre, E. M., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2013). Frozen food and technology. *Advances in Food Science and Technology*, 123, 123.
- Alhamdan, A., Hassan, B., Alkahtani, H., Abdelkarim, D., & Younis, M. (2018). Freezing of fresh Barhi dates for quality preservation during frozen storage. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1552-1561. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.003>
- Allothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food chemistry*, 115(3), 785-788.
- Alvarez Beltrán, T. M. (2021). *Efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales: Una revisión bibliográfica de datos publicados*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

- Ancos, B. de, Sanchez-Moreno, C., Pascual-Teresa, S. de, & Cano, M. P. (2012). *Freezing preservation of fruits*.
- Antezana, A. P. R., Vizaluque, B. E., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2018). DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL, FENOLES TOTALES, Y LA ACTIVIDAD ENZIMÁTICA EN UNA BEBIDA NO LÁCTEA EN BASE A GRANOS DE CHENOPODIUM QUINOA. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176.
- Antoniolli, L. R., Benedetti, B. C., Souza Filho, M. de S. M. de, Garruti, D. dos S., & Borges, M. de F. (2012). Shelf life of minimally processed pineapples treated with ascorbic and citric acids. *Bragantia*, 71(3), 447-453. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000300019>
- Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M. R., & Hoque, M. E. (2015). A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1-16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>
- Bajpai, V. K., Yoon, J. I., & Kang, S. C. (2009). Antioxidant and antidermatophytic activities of essential oil and extracts of *Metasequoia glyptostroboides* Miki ex Hu. *Food and Chemical Toxicology*, 47(6), 1355-1361.
- Barretto, L. C. de O., Moreira, J. de J. da S., Santos, J. A. B. dos, Narendra, N., & Santos, R. A. R. dos. (2013). Characterization and extraction of volatile compounds from pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill) processing residues. *Food Science and Technology (Campinas)*, 33(4), 638-645. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000400007>

- Bilbao-Sainz, C., Sinrod, A., Powell-Palm, M. J., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., Wood, D., Ukpai, G., Aruda, J., Bridges, D. F., Wu, V. C. H., Rubinsky, B., & McHugh, T. (2019). Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.016>
- Bonat Celli, G., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280-304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>
- Cámara, M., Díez, C., Torija, M. E., & Cano, M. P. (1994). HPLC determination of organic acids in pineapple juices and nectars. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 198(1), 52-56.
- Campañone, L. A., Salvadori, V. O., & Mascheroni, R. H. (2005). Food freezing with simultaneous surface dehydration: Approximate prediction of weight loss during freezing and storage. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(6), 1195-1204.
- Chandrapala, J., & Leong, T. (2015). Ultrasonic processing for dairy applications: Recent advances. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 143-158.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10, 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>

- Chang, S.-C., Lee, M.-S., Lin, C.-J., & Chen, M.-L. (1998). Dietary fiber content and composition of fruits in Taiwan. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 7, 206-210.
- Chaovanalikit, A., & Wrolstad, R. E. (2004). Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties. *Journal of food science*, 69(1), FCT67-FCT72.
- Charoenrein, S. (2018). Microstructural changes and their relationship with quality and stability of frozen foods. En *Food microstructure and its relationship with quality and stability* (pp. 123-138). Elsevier.
- Charoenrein, S., & Owcharoen, K. (2016). Effect of freezing rates and freeze-thaw cycles on the texture, microstructure and pectic substances of mango. *International Food Research Journal*, 23(2), 613.
- Chaudhary, P. R., Jayaprakasha, G. K., Porat, R., & Patil, B. S. (2014). Low temperature conditioning reduces chilling injury while maintaining quality and certain bioactive compounds of 'Star Ruby' grapefruit. *Food Chemistry*, 153, 243-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.043>
- Chauhan, A., Singh, S., Dhar, A., & Powar, S. (2021). Optimization of pineapple drying based on energy consumption, nutrient retention, and drying time through multi-criteria decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 292, 125913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125913>
- Chaumpluk, P., Chaiprasart, P., & Vilaivan, T. (2011). Postharvest non-destructive determination of fruits: A model on fruit maturity assay via biosensor based on colorimetric change of gold nanoparticles. *IV International Conference Postharvest Unlimited 2011 945*, 205-212.

- Chaves, A., & Zaritzky, N. (2018). Cooling and freezing of fruits and fruit products. En *Fruit preservation* (pp. 127-180). Springer.
- Chebrolu, K. K., Jayaprakasha, G. K., Jifon, J., & Patil, B. S. (2012). Production system and storage temperature influence grapefruit vitamin C, limonoids, and carotenoids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(29), 7096-7103.
- Chen, C.-C., & Paull, R. E. (2000). Sugar metabolism and pineapple flesh translucency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(5), 558-562.
- Chiet, C. H., Zulkifli, R. M., Hidayat, T., & Yaakob, H. (2014). *Bioactive compounds and antioxidant activity analysis of Malaysian pineapple cultivars*. 398-399. <https://doi.org/10.1063/1.4868827>
- Comandini, P., Blanda, G., Soto-Caballero, M. C., Sala, V., Tylewicz, U., Mujica-Paz, H., Fragoso, A. V., & Toschi, T. G. (2013). Effects of power ultrasound on immersion freezing parameters of potatoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18, 120-125.
- De Ancos, B., Sanchez-Moreno, C., De Pascual-Teresa, S., & Cano, M. P. (2006). *Fruit Freezing Principles. Handbook of Fruits and Fruit Processing, Ed.: YH Hui*. Blackwell Publishing, USA.
- de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., & González-Aguilar, G. A. (2016). Pineapple composition and nutrition. En M. G. Lobo & R. E. Paull (Eds.), *Handbook of Pineapple Technology* (pp. 221-239). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118967355.ch12>

- de Quirós, A. R.-B., & Costa, H. S. (2006). Analysis of carotenoids in vegetable and plasma samples: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(2-3), 97-111.
- Delgado, A. E., & Rubiolo, A. C. (2005). Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. *LWT - Food Science and Technology*, 38(2), 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.04.015>
- Delgado, Z. S. V., & Jesus, V. J. (2015). *Diseno, construccion e implementacion de un modulo de refrigeracion para simular y controlar el proceso de refrigeracion y congelacion de alimentos en el laboraqtorio de la escuela de ingenieria de industrias alimentarias.*
- Denardin, C. C., Hirsch, G. E., da Rocha, R. F., Vizzotto, M., Henriques, A. T., Moreira, J. C., Guma, F. T., & Emanuelli, T. (2015). Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. *Journal of food and drug analysis*, 23(3), 387-398.
- Difonzo, G., Vollmer, K., Caponio, F., Pasqualone, A., Carle, R., & Steingass, C. B. (2019). Characterisation and classification of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) juice from pulp and peel. *Food Control*, 96, 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.015>
- Dima, J. B., Santos, M. V., Baron, P. J., Califano, A., & Zaritzky, N. E. (2014). Experimental study and numerical modeling of the freezing process of marine products. *Food and Bioproducts Processing*, 92(1), 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.07.012>
- Dincer, I. (2023). *Heat transfer in food cooling applications*. CRC Press.

- Dolhaji, N. H., Muhamad, I. I., Ya'akub, H., & Abd Aziz, A. (2018). Evaluation of chilling injury and internal browning condition on quality attributes, phenolic content, and antioxidant capacity during sub-optimal cold storage of Malaysian cultivar pineapples. *Malays. J. Fund. Appl. Sci*, *14*, 456-461.
- Douglas Goff, H. (1992). Low-temperature stability and the glassy state in frozen foods. *Food Research International*, *25*(4), 317-325.
[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90128-R](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90128-R)
- Dussán-Sarria, S., Reyes-Calvache, P. M., & Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes tipos de empaque en los atributos físico-químicos y sensoriales de piña manzana' mínimamente procesada. *Información tecnológica*, *25*(5), 41-46.
- Farahani, M., Salehi-Arjmand, H., Khadivi, A., & Akramian, M. (2019). Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. Nigra fruits. *Scientia Horticulturae*, *253*, 120-127.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.040>
- Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology: Principles and practice*. Elsevier.
- Fernández, N. L., Montenegro, S., Yamul, D. K., & Navarro, A. (2017). Efecto del almacenamiento congelado sobre los parámetros de calidad y textura de moras (*Rubus* sp) del noreste argentino. *I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha y IX Jornadas Argentinas de Biología y Tecnología Poscosecha (Concordia, Entre Ríos, 25 al 27 de octubre de 2017)*.
- FUCHIGAMI, M., HYAKUMOTO, N., & MIYAZAKI, K. (1995). Programmed freezing affects texture, pectic composition and electron microscopic structures of carrots. *Journal of Food Science*, *60*(1), 137-141.

- Fuster, C., Prestamo, G., & Cano, M. P. (1994). Drip loss, peroxidase and sensory changes in kiwi fruit slices during frozen storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64(1), 23-29.
- García, R. J., Torres, J. M., Pinto, A. D., González, J. A., Rengel, J. E., & Pérez, N. A. (2017). Diseño de una estrategia de control difuso aplicada al proceso de ultracongelación de alimentos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 70-84. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000100070>
- Geankoplis, C. J. (1982). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*.
- Genet, R. (2017). ANSES-CIQUAL French Food Composition Table Version. *L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de L'alimentation, de L'environnement et du Travail: Maisons-Alfort, France*.
- George, R. M. (1993). Freezing processes used in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 4(5), 134-138.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296. <https://doi.org/10.1021/jf060303y>
- Gonçalves, E. M., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2011). Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *International Journal of Refrigeration*, 34(8), 2136-2144. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.06.006>
- González-Hoyos, L.-V., Arroyo-Rincón, A.-M., Tobar-Suarez, A., Polanía-Rivera, A.-M., Ayala-Aponte, A., Díaz-Ortiz, A., González-Hoyos, L.-V., Arroyo-Rincón, A.-M., Tobar-Suarez, A., Polanía-Rivera, A.-M., Ayala-Aponte, A.,

- & Díaz-Ortiz, A. (2022). Obtención de “Snacks” de piña (*Ananas comosus*) mediante las técnicas combinadas de Ventana de Refractancia y Fritura con Aire Caliente. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 165-178. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1879>
- Goupy, P., Dufour, C., Loonis, M., & Dangles, O. (2003). Quantitative kinetic analysis of hydrogen transfer reactions from dietary polyphenols to the DPPH radical. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 615-622.
- Grosso, G., Bei, R., Mistretta, A., Marventano, S., Calabrese, G., Masuelli, L., Giganti, M. G., Modesti, A., Galvano, F., & Gazzolo, D. (2013). Effects of vitamin C on health: A review of evidence. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 18(3), 1017-1029.
- Hajar, N., Zainal, S., Nadzirah, K. Z., Roha, A. M. S., Atikah, O., & Elida, T. Z. M. T. (2012). Physicochemical Properties Analysis of Three Indexes Pineapple (*Ananas Comosus*) Peel Extract Variety N36. *APCBEE Procedia*, 4, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.11.020>
- Han, Q.-Q., Wu, P.-F., Li, Y.-H., Cao, Y., Chen, J.-G., & Wang, F. (2022). SVCT2-mediated ascorbic acid uptake buffers stress responses via DNA hydroxymethylation reprogramming of S100 calcium-binding protein A4 gene. *Redox Biology*, 58, 102543. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2022.102543>
- Hien, T. T., Long, T. B., Muoi, N. V., & Truc, T. T. (2022). Effect of pretreatment on quality of frozen Cau Duc pineapple (*Ananas comosus*). *Materials Today: Proceedings*, 57, 447-453. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.070>

- Holzwarth, M., Korhummel, S., Carle, R., & Kammerer, D. R. (2012). Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria×ananassa* Duch.). *Food Research International*, 48(1), 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.04.004>
- Hossain, M. A., & Rahman, S. M. M. (2011). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. *Food Research International*, 44(3), 672-676. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.036>
- Ismail, N. A. M., Abdullah, N., & Muhammad, N. (2018). Effect of microwave-assisted processing on quality characteristics of pineapple jam. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 42(1), 24-30.
- James, S. J., & James, C. (2014). Chilling and freezing. En *Food Safety Management* (pp. 481-510). Elsevier.
- Jha, P. K., Xanthakis, E., Chevallier, S., Jury, V., & Le-Bail, A. (2019). Assessment of freeze damage in fruits and vegetables. *Food Research International*, 121, 479-496. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.002>
- Jiménez Requena, S. (2019). *Influencia de la aplicación de ultrasonidos de potencia en la cinética de congelación y la calidad de manzana Granny Smith*.
- Jomova, K., & Valko, M. (2013). Health protective effects of carotenoids and their interactions with other biological antioxidants. *European journal of medicinal chemistry*, 70, 102-110.
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops* (Vol. 3311). University of California Agriculture and Natural Resources.

- Kaewtathip, T., & Charoenrein, S. (2012). Changes in volatile aroma compounds of pineapple (*Ananas comosus*) during freezing and thawing: Changes volatile aroma compounds of pineapple. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(5), 985-990. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02931.x>
- Kara, M., Sahin, H., Turumtay, H., Dinc, S., & Gumuscu, A. (2014). The phenolic composition and antioxidant activity of tea with different parts of *Sideritis* condensate at different steeping conditions. *JOURNAL OF FOOD AND NUTRITION RESEARCH (NEWARK)*, 2(5), 258-262.
- Kaźmierczak-Barańska, J., Boguszewska, K., Adamus-Grabicka, A., & Karwowski, B. T. (2020). Two Faces of Vitamin C—Antioxidative and Pro-Oxidative Agent. *Nutrients*, 12(5), 1501. <https://doi.org/10.3390/nu12051501>
- Khalid, N., Suleria, H. A. R., & Ahmed, I. (2016). Pineapple juice. *Handbook of Functional Beverages and Human Health*, 489-500.
- Khoo, H., Ng, H., Yap, W.-S., Goh, H., & Yim, H. (2019). Nutrients for Prevention of Macular Degeneration and Eye-Related Diseases. *Antioxidants*, 8(4), 85. <https://doi.org/10.3390/antiox8040085>
- Khudyakov, A. N., Kuleshova, L. G., Zaitseva, O. O., Sergushkina, M. I., Vetoshkin, K. A., & Polezhaeva, T. V. (2019). Effect of Pectins on Water Crystallization Pattern and Integrity of Cells During Freezing. *Biopreservation and Biobanking*, 17(1), 52-57. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0066>
- Kirtil, E., Oztop, M. H., Sirijariyawat, A., Ngamchuachit, P., Barrett, D. M., & McCarthy, M. J. (2014). Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl₂

- infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study. *Food research international*, 66, 409-416.
- Lasekan, O., & Hussein, F. K. (2018). Classification of different pineapple varieties grown in Malaysia based on volatile fingerprinting and sensory analysis. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 140. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0505-3>
- Lebón Santos, M. (2015). *Efecto del envasado en atmósfera modificada sobre la vida útil y calidad de piña procesada congelada* [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77071>
- Leifert, W. R., & Abeywardena, M. Y. (2008). Cardioprotective actions of grape polyphenols. *Nutrition Research*, 28(11), 729-737.
- Li, B. W., Andrews, K. W., & Pehrsson, P. R. (2002). Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of food composition and analysis*, 15(6), 715-723.
- Li, D., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2018). Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 46-55.
- Lim, M. H., McFetridge, J. E., & Liesebach, J. (2004). Frozen food components and chemical reactions. *Handbook of frozen foods*, 67-81.
- Lin, J.-Y., & Tang, C.-Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>

- Lobo, M. G., & Yahia, E. (2016). Biology and postharvest physiology of pineapple. En M. G. Lobo & R. E. Paull (Eds.), *Handbook of Pineapple Technology* (pp. 39-61). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118967355.ch3>
- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., & Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioproducts Processing*, *100*, 525-534. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
- Lv, Y., Chu, Y., Zhou, P., Mei, J., & Xie, J. (2021). Effects of Different Freezing Methods on Water Distribution, Microstructure and Protein Properties of Cuttlefish during the Frozen Storage. *Applied Sciences*, *11*(15), 6866. <https://doi.org/10.3390/app11156866>
- Malta, L. G., Tessaro, E. P., Eberlin, M., Pastore, G. M., & Liu, R. H. (2013). Assessment of antioxidant and antiproliferative activities and the identification of phenolic compounds of exotic Brazilian fruits. *Food Research International*, *53*(1), 417-425.
- Manglano, P., Farré, R., Frigola, A., & Lagarda, M. J. (2003). *Optimización de la determinación por polarografía diferencial de impulsos de ácido ascórbico en fórmulas para lactantes.*
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, *135*(3), 1520-1526. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057>

- Mazur, P. (1970). Cryobiology: The Freezing of Biological Systems: The responses of living cells to ice formation are of theoretical interest and practical concern. *Science*, *168*(3934), 939-949.
- Miller, J. P. (1991). The use of liquid nitrogen in food freezing. En *Food Freezing* (pp. 157-170). Springer.
- Moharram, Y. G., & Rofael, S. D. (1993). Shelf life of frozen vegetables. *Developments in food science*.
- Mohd Ali, M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2020). Pineapple (*Ananas comosus*): A comprehensive review of nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products. *Food Research International*, *137*, 109675. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109675>
- Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2010). Mechanical and chemical properties of Gold cultivar pineapple flesh (*Ananas comosus*). *European Food Research and Technology*, *230*(4), 675-686.
- Mühlbauer, W., & Müller, J. (2020). Fig (*Ficus carica* L.). En *Drying Atlas* (pp. 289-296). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818162-1.00032-8>
- Murray, K. E., Shipton, J., Whitfield, F. B., Kennett, B. H., & Stanley, G. (1968). Volatile flavor components from green peas (*Pisum sativum*). 1. Alcohols in unblanched frozen peas. *Journal of Food Science*, *33*(3), 290-294.
- Murray, K. E., Shipton, J., Whitfield, F. B., & Last, J. H. (1976). The volatiles of off-flavoured unblanched green peas (*Pisum sativum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *27*(12), 1093-1107.

- Muthukumarappan, K., Marella, C., & Sunkesula, V. (2019). Food freezing technology. En *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering* (pp. 389-415). Elsevier.
- Nalbandi, H., Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H. R., & Rangbar, F. (2016). Innovative Parallel Airflow System for forced-air cooling of strawberries. *Food and Bioproducts Processing, 100*, 440-449.
- Năstase, G., Perez, P. A., Șerban, A., Dobrovicescu, A., Ștefănescu, M.-F., & Rubinsky, B. (2016). Advantages of isochoric freezing for food preservation: A preliminary analysis. *International Communications in Heat and Mass Transfer, 78*, 95-100.
<https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.08.026>
- Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2020). Antioxidant Activity in Frozen Plant Foods: Effect of Cryoprotectants, Freezing Process and Frozen Storage. *Foods, 9*(12), 1886.
<https://doi.org/10.3390/foods9121886>
- Nualart, F., Mack, L., Garcia, A., Cisternas, P., Bongarzone, E. R., Heitzer, M., Jara, N., Martinez, F., Ferrada, L., Espinoza, F., Baeza, V., & Salazar, K. (2014). Vitamin C transporters, recycling and the bystander effect in the nervous system: SVCT2 versus gluts. *J Stem Cell Res Ther, 4*(5). Scopus.
- Otero, L., Sanz, P. D., Guignon, B., & Aparicio, C. (2009). Experimental determination of the amount of ice instantaneously formed in high-pressure shift freezing. *Journal of Food Engineering, 95*(4), 670-676.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.036>

- Pandhair, V., & Sekhon, B. S. (2006). Reactive oxygen species and antioxidants in plants: An overview. *Journal of plant Biochemistry and Biotechnology*, *15*(2), 71-78.
- Parmar, T., Ortega, J. T., & Jastrzebska, B. (2020). Retinoid analogs and polyphenols as potential therapeutics for age-related macular degeneration. *Experimental Biology and Medicine*, *245*(17), 1615-1625. <https://doi.org/10.1177/1535370220926938>
- Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Åkesson, B., & Bergenståhl, B. (2008). Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular nutrition & food research*, *52*(6), 708-717.
- Pérez-Balibrea, S., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2011). Genotypic effects on the phytochemical quality of seeds and sprouts from commercial broccoli cultivars. *Food Chemistry*, *125*(2), 348-354.
- Phothiset, S., & Charoenrein, S. (2014). Effects of freezing and thawing on texture, microstructure and cell wall composition changes in papaya tissues: Effects of freezing and thawing on papaya tissues. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(2), 189-196. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6226>
- Pino, J. A. (2013). Odour-active compounds in pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merrill cv. Red Spanish). *International Journal of Food Science & Technology*, *48*(3), 564-570. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03222.x>
- Plaza, M., Pozzo, T., Liu, J., Gulshan Ara, K. Z., Turner, C., & Nordberg Karlsson, E. (2014). Substituent effects on in vitro antioxidizing properties, stability, and

- solubility in flavonoids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(15), 3321-3333.
- Poiana, M. A., Moigradean, D., & Alexa, E. (2010). Influence of home-scale freezing and storage on antioxidant properties and color quality of different garden fruits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(2), 163-171.
- Prado, K. S., & Spinacé, M. A. S. (2019). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 410-416. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.187>
- Pukszta, T., & Palich, P. (2007). The effect of freezing conditions of strawberry storage on the level of thawing drip loss. *Acta Agrophysica*, 9(1), 203-228.
- Quintero Vásquez, S. T., & Bonilla Garzón, M. A. (2018). La ultra congelación como método de preservación y conservación de la granadilla (*Passiflora ligularis* juss). *Revista tecnología y productividad*, 4(4), 195-204. <https://doi.org/10.23850/24632465.2343>
- Ramallo, L. A., & Mascheroni, R. H. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and bioproducts processing*, 90(2), 275-283.
- Ramsaroop, R. E., & Saulo, A. A. (2007). Comparative consumer and physicochemical analysis of Del Monte Hawaii Gold and Smooth Cayenne pineapple cultivars. *Journal of food quality*, 30(2), 135-159.
- Ramulu, P., & Udayasekhara Rao, P. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(6), 677-685. [https://doi.org/10.1016/S0889-1575\(03\)00095-4](https://doi.org/10.1016/S0889-1575(03)00095-4)

- Randhir, R., Lin, Y.-T., Shetty, K., & Lin, Y.-T. (2004). Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 13(3).
- Robles-Sánchez, M., Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Astiazarán-García, H., González-Aguilar, G., & Cruz-Valenzuela, R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: Potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32(4), 227-232.
- Ross, K. A., Beta, T., & Arntfield, S. D. (2009). A comparative study on the phenolic acids identified and quantified in dry beans using HPLC as affected by different extraction and hydrolysis methods. *Food Chemistry*, 113(1), 336-344.
- Roy, A., Khan, A., Ahmad, I., Alghamdi, S., Rajab, B. S., Babalghith, A. O., Alshahrani, M. Y., Islam, S., & Islam, Md. R. (2022). Flavonoids a Bioactive Compound from Medicinal Plants and Its Therapeutic Applications. *BioMed Research International*, 2022, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/5445291>
- Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2016). Phytochemical content and antioxidant activities of thirteen fruits of Assam, India. *Food bioscience*, 13, 15-20.
- Salazar, D. M., Álvarez, F. C., Acurio, L. P., Perez, L. V., Arancibia, M. Y., Carvajal, M. G., Valencia, A. F., & Rodriguez, C. A. (2019). Osmotic concentration of pineapple (Cayenne lisse) as a pretreatment for convection drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 292(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/292/1/012039>

- Sánchez-Zapata, E., Fernández-López, J., & Angel Pérez-Alvarez, J. (2012). Tiger nut (*Cyperus esculentus*) commercialization: Health aspects, composition, properties, and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *11*(4), 366-377.
- Saradhuldhat, P., & Paull, R. E. (2007). Pineapple organic acid metabolism and accumulation during fruit development. *Scientia Horticulturae*, *112*(3), 297-303.
- Sebastián, S., Ceballos-Peñaloza, A. M., & Gutiérrez-Mosquera, L. F. (2019). Evaluación de los parámetros del proceso de congelación para la pulpa de Açai. *TecnoLógicas*, *22*(46), 25-38. <https://doi.org/10.22430/22565337.1117>
- Sebranek, J. G. (2019). Poultry and poultry products. En *Freezing effects on food quality* (pp. 85-108). CRC Press.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Shaik-Dasthagirisahab, Y. B., Varvara, G., Murmura, G., Saggini, A., Caraffa, A., Antinolfi, P., Tete, S., Tripodi, D., Conti, F., & Cianchetti, E. (2013). Role of vitamins D, E and C in immunity and inflammation. *J Biol Regul Homeost Agents*, *27*(2), 291-295.
- Shamsudin, R., Zulkifli, N. A., & Zaman, A. K. (2020). Quality attributes of fresh pineapple-mango juice blend during storage. *International Food Research Journal*, *27*(1), 141-149.

- Sharma, P., Ramchiary, M., Samyor, D., & Das, A. B. (2016). Study on the phytochemical properties of pineapple fruit leather processed by extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 534-543. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.001>
- Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 383, 132531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>
- Siger, A., Czubinski, J., Kachlicki, P., Dwiecki, K., Lampart-Szczapa, E., & Nogala-Kalucka, M. (2012). Antioxidant activity and phenolic content in three lupin species. *Journal of food composition and analysis*, 25(2), 190-197.
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2009). Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II- Structure-Function Relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(2), 86-104. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00071.x>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to Food Engineering Fifth Edit.* Amsterdam: Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- SOLOMAN, G. D., Razali, Z., & Somasundram, C. (2016). *Physiochemical changes during growth and development of pineapple (Ananas comosus L. Merr. Cv. Sarawak).*

- Song, F.-L., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xiao, Q., Kuang, L., & Li, H.-B. (2010). Total phenolic contents and antioxidant capacities of selected Chinese medicinal plants. *International journal of molecular sciences*, *11*(6), 2362-2372.
- Steingass, C. B., Dell, C., Lieb, V., Mayer-Ullmann, B., Czerny, M., & Carle, R. (2016). Assignment of distinctive volatiles, descriptive sensory analysis and consumer preference of differently ripened and post-harvest handled pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) fruits. *European Food Research and Technology*, *242*(1), 33-43. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2515-x>
- Steingass, C. B., Vollmer, K., Lux, P. E., Dell, C., Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2020). HPLC-DAD-APCI-MS analysis of the genuine carotenoid pattern of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) infructescence. *Food Research International*, *127*, 108709. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108709>
- Stoecker, W. F. (1998). *Industrial refrigeration handbook*. McGraw-Hill Education.
- Sun, G.-M., Zhang, X.-M., Soler, A., & Marie-Alphonsine, P. (2016). Nutritional Composition of Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.). En *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 609-637). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00025-8>
- Sun, L., Islam, M. R., Ho, J. C., & Mujumdar, A. S. (2005). A diffusion model for drying of a heat sensitive solid under multiple heat input modes. *Bioresource Technology*, *96*(14), 1551-1560.
- Sun, X., Li, W., Hu, Y., Zhou, X., Ji, M., Yu, D., Fujita, K., Tatsumi, E., & Luan, G. (2018). Comparison of pregelatinization methods on physicochemical, functional and structural properties of tartary buckwheat flour and noodle

- quality. *Journal of Cereal Science*, 80, 63-71.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.016>
- Tveden-Nyborg, P., Johansen, L. K., Raida, Z., Villumsen, C. K., Larsen, J. O., & Lykkesfeldt, J. (2009). Vitamin C deficiency in early postnatal life impairs spatial memory and reduces the number of hippocampal neurons in guinea pigs. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 540-546.
<https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27954>
- Van Buggenhout, S., Messagie, I., Maes, V., Duvetter, T., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2006). Minimizing texture loss of frozen strawberries: Effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions. *European Food Research and Technology*, 223(3), 395-404.
<https://doi.org/10.1007/s00217-005-0218-4>
- Vargas Serna, C. L., Gonzalez Torres, V., Ochoa Martinez, C. I., & Velez Pasos, C. (2022). Conservación de piña mínimamente procesada: Evaluación de parámetros fisicoquímicos. *Ingeniería*, 27(1), e17564.
<https://doi.org/10.14483/23448393.17564>
- Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., Cunja, V., Zupan, A., Koron, D., & Mikulic-Petkovsek, M. (2014). Changes in the Contents of Anthocyanins and Other Compounds in Blackberry Fruits Due to Freezing and Long-Term Frozen Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(29), 6926-6935.
<https://doi.org/10.1021/jf405143w>
- Villagrán, M., Muñoz, M., Díaz, F., Troncoso, C., Celis-Morales, C., Mardones, L., Villagrán, M., Muñoz, M., Díaz, F., Troncoso, C., Celis-Morales, C., &

- Mardones, L. (2019). Una mirada actual de la vitamina C en salud y enfermedad. *Revista chilena de nutrición*, 46(6), 800-808.
<https://doi.org/10.4067/S0717-75182019000600800>
- Villaño, D., Fernández-Pachón, M. S., Moyá, M. L., Troncoso, A. M., & García-Parrilla, M. C. (2007). Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71(1), 230-235.
- Wei, C. B., Ding, X. D., Liu, Y. G., Zhao, W. F., & Sun, G. M. (2014). Application of Solid-Phase Microextraction for the Analysis of Aroma Compounds from Pineapple Fruit. *Advanced Materials Research*, 988, 397-406.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.988.397>
- Wen, K., Fang, X., Yang, J., Yao, Y., Nandakumar, K. S., Salem, M. L., & Cheng, K. (2021). Recent Research on Flavonoids and their Biomedical Applications. *Current Medicinal Chemistry*, 28(5), 1042-1066.
<https://doi.org/10.2174/0929867327666200713184138>
- Wisdom, W., Firibu, K. S., Matilda, S.-A., Agnes, S. B., & Samuel, S.-D. (2009). A comparison of some physical, chemical and sensory attributes of three pineapple (*Ananas comosus*) varieties grown in Ghana. *African Journal of Food Science*, 3(4), 094-099.
- Yadav, A. K., & Singh, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1654-1673.
- Zambrano, J., Valera, A., Maffei, M., Materano, W., & Quintero, I. (2017). *EFEECTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE FORMULADO CON MUCÍLAGO DEL CACTUS (Opuntia elatior Mill.) SOBRE LA CALIDAD DE FRUTOS DE PIÑA MÍNIMAMENTE PROCESADOS*. 8.

- Zaritzky, N. E. (2012). *Physical-chemical principles in freezing*.
- Zdrojewicz, Z., Chorbinska, J., Biezynski, B., & Krajewski, P. (2018). Health-promoting properties of pineapple. *PEDIATRIA I MEDYCYNA RODZINNA-PAEDIATRICS AND FAMILY MEDICINE*, *14*(2), 133-142.
- Zhan, X., Zhu, Z., & Sun, D.-W. (2019). Effects of extremely low frequency electromagnetic field on the freezing processes of two liquid systems. *LWT*, *103*, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.079>
- Zhang, X. M., Du, L. Q., Xie, J. H., Chen, J. Y., Gong, D. Q., & Li, W. C. (2006). Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in cayenne pineapple fruit. *Journal of Fruit Science*, *23*(5), 707-710.
- Zhu, Z., Luo, W., & Sun, D.-W. (2020). Effects of liquid nitrogen quick freezing on polyphenol oxidase and peroxide activities, cell water states and epidermal microstructure of wolfberry. *LWT*, *120*, 108923. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108923>
- Zzaman, W., Biswas, R., & Hossain, M. A. (2021). Application of immersion pre-treatments and drying temperatures to improve the comprehensive quality of pineapple (*Ananas comosus*) slices. *Heliyon*, *7*(1), e05882. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05882>

ANEXOS

ANEXO 1: Medición de acidez total titulable

Muestra	Ac. Total titulable
1	0.61
2	0.68
3	0.89
4	0.67
5	0.85
6	0.92
7	0.65
8	0.76
9	0.86
10	0.96
11	0.92
12	0.72
13	0.86
14	0.83
15	0.78

ANEXO 2: Contenido de solidos solubles

Muestra	°Brix
1	11
2	11
3	12
4	15
5	14.5
6	9
7	10
8	10
9	11.5
10	14
11	13
12	12
13	14
14	14.5
15	11

ANEXO 3: Contenido de humedad en las piñas

N°	H(%)
1	82.60
2	83.10
3	82.83
4	83.05
5	85.18
6	84.23
7	85.94
8	85.86
9	85.20
10	85.36
11	84.02
12	84.99

ANEXO 4: Datos experimentales de congelación domestica

hora	t(s)	T							
		cámara	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
11:05:41	0.00	-20	17.3	15.7	16.7	16.6	19.3	20.1	19.1
11:06:41	1.00	-20	17.8	19.5	19	16.5	20	18.9	17.4
11:07:41	2.00	-20	16.2	17.5	17.9	15	17.8	19.8	16.2
11:08:41	3.00	-20	15.7	17.3	17	13.4	17	17.7	14.3
11:09:42	4.00	-20	14.3	16.7	15.6	11.9	15.8	16.6	12.5
11:10:43	5.00	-20	14.1	15	14	10.4	14.5	15	10.9
11:11:43	6.00	-20	13	13.4	12.5	9	13.1	13.3	9.3
11:12:43	7.00	-20	12.1	12	11.1	7.8	12	11.7	8
11:13:43	8.00	-20	11	10.5	9.8	6.8	10.9	10.1	6.9
11:14:43	9.00	-20	10	9.2	8.6	5.9	9.8	8.8	5.9
11:15:43	10.00	-20	9.1	8.1	7.7	5.2	8.9	7.6	5.2
11:16:43	11.00	-20	8.3	7.2	6.8	4.5	7.9	6.6	4.5
11:17:43	12.00	-20	7.5	6.2	6	4	7.2	5.8	4
11:18:43	13.00	-20	6.8	5.5	5.2	3.7	6.5	5	3.5
11:19:43	14.00	-20	6.1	4.9	4.7	3.5	5.9	4.4	3.2
11:20:43	15.00	-20	5.6	4.3	4.2	3.3	5.3	3.9	3.2
11:21:43	16.00	-20	5.1	3.9	3.8	3	4.9	3.6	3.2
11:22:43	17.00	-20	4.6	3.7	3.5	2.5	4.5	3.3	3
11:23:43	18.00	-20	4.3	3.7	3.5	2.1	4.2	3.5	2.9
11:24:43	19.00	-20	4	3.5	3.1	1.7	3.4	3.4	2.6
11:25:43	20.00	-20	3.8	3.4	2.9	1.4	3.4	3.3	2.3
11:26:45	21.00	-20	3.4	3.1	2.6	1.1	3.1	3.2	1.9
11:27:45	22.00	-20	3.1	2.7	2.4	0.8	2.9	3.1	1.5
11:28:47	23.00	-20	3	2.4	2.1	0.5	2.3	2.8	1.2
11:29:47	24.00	-20	2.8	2	1.9	0.2	2.1	2.5	1
11:30:48	25.00	-20	2.4	1.6	1.5	-0.1	1.7	1.9	0.6
11:31:48	26.00	-20	2	1.2	1.2	-0.5	1.3	1.4	0.2
11:32:48	27.00	-20	1.8	0.8	0.9	-0.8	0.9	0.8	-0.2
11:33:48	28.00	-20	1.2	0.5	0.6	-1	0.6	0.4	-0.5
11:34:48	29.00	-20	1	0.1	0.3	-1.2	0.2	0	-0.8
11:35:48	30.00	-20	0	-0.3	0	-1.6	-0.1	-0.5	-1.1
11:36:48	31.00	-20	-0.7	-0.5	-0.2	-1.9	-0.4	-0.9	-1.4
11:37:48	32.00	-20	-0.9	-0.9	-0.5	-2.3	-0.8	-1.4	-1.8
11:38:48	33.00	-20	-1.4	-1.2	-0.8	-2.6	-1	-1.6	-2
11:39:48	34.00	-20	-1.9	-1.4	-1	-2.8	-1.2	-2	-2.3
11:40:49	35.00	-20	-2	-1.8	-1.3	-3.2	-1.6	-2.4	-2.7
11:41:49	36.00	-20	-2.2	-2.1	-1.6	-3.6	-1.9	-2.9	-3
11:42:49	37.00	-20	-2.6	-2.4	-1.7	-3.9	-2.3	-3.1	-3.1
11:43:50	38.00	-20	-3	-2.7	-2.1	-4.3	-2.8	-3.7	-3.5
11:44:50	39.00	-20	-3.2	-2.9	-2.1	-4.6	-2.9	-4.2	-3.4
11:45:50	40.00	-20	-3.8	-3	-2.2	-4.8	-2.9	-4.7	-3.7
11:46:50	41.00	-20	-4	-3.2	-2.4	-5	-3	-5.4	-3.8
11:47:50	42.00	-20	-4.7	-3.5	-2.6	-5.3	-3.2	-6.3	-4.2
11:48:50	43.00	-20	-5.4	-3.8	-2.7	-5.8	-3.6	-7.1	-4.5
11:49:50	44.00	-20	-6.2	-4.2	-2.9	-6.1	-3.9	-7.9	-5
11:50:50	45.00	-20	-6.9	-4.7	-3.2	-6.6	-4.2	-8.6	-5.4
11:51:50	46.00	-20	-7.4	-5.3	-3.4	-7.1	-4.9	-9.3	-5.9
11:52:50	47.00	-20	-8.6	-6.2	-3.7	-7.7	-5.3	-9.9	-6.5

11:53:50	48.00	-20	-9.3	-6.7	-3.9	-8.3	-5.7	-10.5	-7.2
11:54:50	49.00	-20	-10.1	-7.4	-4.1	-8.9	-6.3	-10.9	-7.7
11:55:53	50.00	-20	-10.4	-8	-4.4	-9.5	-7.1	-11.4	-8.3
11:56:53	51.00	-20	-10.9	-8.8	-4.7	-10.1	-7.9	-11.8	-9
11:57:55	52.00	-20	-11.2	-9.3	-5	-10.6	-8.3	-12.2	-9.4
11:58:55	53.00	-20	-11.9	-9.9	-5.4	-11.1	-8.8	-12.5	-10
11:59:55	54.00	-20	-12.6	-10.3	-5.7	-11.5	-9.6	-12.8	-10.4
12:00:56	55.00	-20	-13	-10.9	-6.1	-11.9	-10.1	-13	-10.9
12:01:57	56.00	-20	-13.2	-11.3	-6.5	-12.2	-10.6	-13.2	-11.3
12:02:58	57.00	-20	-13.4	-11.7	-7	-12.6	-11.2	-13.4	-11.6
12:04:00	58.00	-20	-13.6	-12	-7.5	-12.9	-11.8	-13.7	-11.9
12:05:00	59.00	-20	-13.7	-12.3	-8	-13.1	-12.1	-13.7	-12.2
12:06:00	60.00	-20	-13.8	-12.6	-8.6	-13.3	-12.6	-13.9	-12.4
12:07:00	61.00	-20	-13.9	-12.8	-9.1	-13.5	-12.7	-14	-12.8
12:08:00	62.00	-20	-14	-13	-9.6	-13.6	-12.8	-14.1	-12.9
12:09:00	63.00	-20	-14.1	-13.2	-10.1	-13.9	-13.1	-14.3	-13.1
12:10:00	64.00	-20	-14.3	-13.4	-10.6	-14	-13.4	-14.4	-13.3
12:11:00	65.00	-20	-14.4	-13.6	-11	-14.2	-13.6	-14.5	-13.5
12:12:00	66.00	-20	-14.6	-13.6	-11.4	-14.2	-13.7	-14.5	-13.5
12:13:00	67.00	-20	-14.6	-13.8	-11.7	-14.3	-13.8	-14.6	-13.7
12:14:00	68.00	-20	-14.7	-14	-12	-14.6	-13.9	-14.8	-14
12:15:00	69.00	-20	-14.7	-14.1	-12.3	-14.6	-14.1	-14.8	-14.1
12:16:00	70.00	-20	-14.8	-14.2	-12.6	-14.7	-14.1	-14.9	-14.2
12:17:00	71.00	-20	-14.8	-14.4	-12.9	-14.8	-14.2	-15.1	-14.4
12:18:02	72.00	-20	-14.9	-14.5	-13.1	-14.9	-14.3	-15.2	-14.5
12:19:02	73.00	-20	-15.1	-14.5	-13.3	-15	-14.5	-15.1	-14.6
12:20:03	74.00	-20	-15.1	-14.6	-13.4	-15	-14.5	-15.1	-14.5
12:21:04	75.00	-20	-15.2	-14.7	-13.6	-15.1	-14.6	-15.2	-14.7
12:22:04	76.00	-20	-15.3	-14.8	-13.7	-15.2	-14.5	-15.3	-14.7
12:23:04	77.00	-20	-15.3	-14.8	-13.8	-15.2	-14.7	-15.3	-14.8
12:24:04	78.00	-20	-15.4	-14.8	-13.9	-15.3	-14.8	-15.3	-14.9
12:25:04	79.00	-20	-15.5	-14.9	-14.1	-15.4	-14.9	-15.4	-15
12:26:42	80.00	-20	-15.5	-14.9	-14.1	-15.3	-14.9	-15.4	-14.9
12:27:42	81.00	-20	-15.6	-15	-14.2	-15.4	-15	-15.4	-14.9
12:28:42	82.00	-20	-15.7	-15	-14.4	-15.5	-15	-15.5	-15
12:29:42	83.00	-20	-15.8	-15.1	-14.5	-15.6	-15.2	-15.6	-15
12:30:42	84.00	-20	-15.8	-15.2	-14.6	-15.6	-15.3	-15.6	-15.1
12:31:42	85.00	-20	-15.7	-15.3	-14.7	-15.6	-15.4	-15.6	-15
12:32:42	86.00	-20	-15.9	-15.3	-14.7	-15.7	-15.4	-15.6	-15
12:33:42	87.00	-20	-15.9	-15.5	-14.9	-15.9	-15.4	-15.7	-15.1

ANEXO 5 : Imágenes de algunas actividades realizadas



Frutos de piña y piña en trozos



Acondicionamiento de los trozos con la termocupla



Trozos de piña congelada y empacada en empaques Doypack



Midiendo los sólidos solubles



Realizando pesadas para determinar humedad por el método de estufa

ANEXO.6 ANVA para perdida de goteo

Tratamiento	Repeticiones			Promedio	desv
	I	II	III		
A= velocidad 0.011 °C/s	68.4	68.9	67.8	68.37	0.55075705
B= velocidad 2.8 °C/s	33.48	34.6	35.4	34.49	0.9644342

ANVA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>SC</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F calculado</i>	<i>Valor-p</i>	<i>F critico</i>
Tratamientos	1721.104067	1	1721.1041	2790.6779	7.69E-07	7.7086474
Error	2.46693	4	0.61673			
Total	1723.571	5				

Conclusión

$F_{cal} > F_{critico}$, existen diferencia significativa entre tratamiento

Tabla Resultados de contenido de fenoles totales

Tratamiento	Repeticiones			Promedio	desv
	I	II	III		
A= velocidad 0.011 °C/s	20.75	21.42	20.09	20.75	± 0.66500627
B= velocidad 2.8 °C/s	24.78	24.65	24.51	24.65	± 0.13503086

ANVA para Fenoles totales

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fcal</i>	<i>Valor P</i>	<i>F crítico</i>
Tratamiento	22.74	1	22.738	98.757	0.00058	7.7086
Error	0.921	4	0.2303			
Total	23.658	5				

Tabla resultados de contenido de flavonoide

Tratamiento	Repeticiones			Promedio	desv
	I	II	III		
A= velocidad 0.011 °C/s	18.25	18.07	19.06	18.46	± 0.52735187
B= velocidad 2.8 °C/s	28.15	27.65	28.51	28.10	± 0.43189505

ANVA para Flavonoides

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Fcal</i>	<i>Valor p</i>	<i>F crítico</i>
Tratamiento	139.491	1	139.491	600.434	1.6459E-05	7.7086
Error	0.9293	4	0.2323			
Total	140.4201	5				

Tabla resultados de contenido de flavonoles




Tratamiento	Repeticiones			Promedio	desv
	I	II	III		
A= velocidad 0.011 °C/s	9.25	10.07	10.06	9.79	0.47056703
B= velocidad 2.8 °C/s	12.05	12.05	12.11	12.07	0.03464102

ANVA para flavonoles

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>gl</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor p</i>	<i>F crítico</i>
Tratamientos	7.775	1	7.775	69.8443	0.0011	7.70865
Error	0.4453	4	0.11132			
Total	8.2201	5				

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros de Jurado Designado para el Acto Público de Sustentación de Tesis cuyo Título es: "INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CONGELACION EN LOS CAMBIOS CINETICOS DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN TROZOS DE PIÑA (*Ananas Comosus L.*) CONGELADA DURANTE ALMACENAMIENTO". Presentado por el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias Saúl SANTIAGO SOSA, el cual fue expuesto el día 09 de febrero del 2023, en mérito a la RD N° 022-2023-UNSC-FIQM/D, damos nuestra conformidad a la tesis mencionada y declaramos al recurrente apto para que pueda iniciar las gestiones administrativas conducentes a la expedición y entrega de título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Dr. Alberto Luís HUAMANI HUAMANI	06161943	
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE	42968737	
Mg. Wuelde César DIAZ MALDONADO	28227229	

Ayacucho 15 de febrero del 2023



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, el Sr. Saul SANTIAGO SOSA, egresado de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Julio Pablo Godenzi Vargas, la Tesis: *“Influencia de la velocidad de congelación en los cambios cinéticos compuestos bioactivos en trozos de piña (Ananas comosus L.) congelada durante almacenamiento”*; y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 14% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha marzo 08 de 2023 e Identificador de la Entrega N° 2032111876.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, marzo 08 de 2023.



Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia
E.P. Ingeniería Industrias Alimentarias



Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI
DIRECTOR

c.c. : Archivo digital.
Constancia N° 072



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Saul Santiago Sosa
Título del ejercicio: Con depósito
Título de la entrega: Influencia de la velocidad de congelación en los cambios cin...
Nombre del archivo: TESIS_SAUL_CORREGIDO_ok.pdf
Tamaño del archivo: 1.48M
Total páginas: 98
Total de palabras: 16,672
Total de caracteres: 85,265
Fecha de entrega: 10-mar.-2023 07:23a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2033841681

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS

Influencia de la velocidad de congelación en los cambios
cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña (*Ananas
comosus* L.) congelada durante almacenamiento.

PRESENTADO POR:

Saul, SANTIAGO SOSA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ASESOR:

Julio Pablo GONDENZI VARGAS

AYACUCHO – PERÚ

2022

Influencia de la velocidad de congelación en los cambios cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña (*Ananas comosus* L.) congelada durante almacenamiento.

por Saul Santiago Sosa

Fecha de entrega: 26-feb-2023 07:14p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2023577369

Nombre del archivo: TESIS_SAUL_CORREGIDO.pdf (1.72M)

Total de palabras: 22145

Total de caracteres: 116813

Influencia de la velocidad de congelación en los cambios cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña (*Ananas comosus* L.) congelada durante almacenamiento.

por Saul Santiago Sosa

Fecha de entrega: 10-mar-2023 07:23a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2033841681

Nombre del archivo: TESIS_SAUL_CORREGIDO_ok.pdf (1.48M)

Total de palabras: 16672

Total de caracteres: 85265

Influencia de la velocidad de congelación en los cambios cinéticos de compuestos bioactivos en trozos de piña (*Ananas comosus* L.) congelada durante almacenamiento.

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
2	Guang-Ming Sun, Xiu-Mei Zhang, Alain Soler, Paul-Alex Marie-Alphonsine. "Nutritional Composition of Pineapple (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.)", Elsevier BV, 2016 Publicación	1%
3	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
4	www.bolivianchemistryjournal.org Fuente de Internet	1%
5	repository.exst.jaxa.jp Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	www.doccity.com Fuente de Internet	1%

8	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
9	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
11	www.scielo.org.co Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1 %
14	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.scielo.org.bo Fuente de Internet	<1 %
16	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1 %
17	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.xoc.uam.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo