



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFECTO DE LOS PROCESOS DE  
CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN SOBRE  
RODAJAS DE KIWI

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**LYSSETTE MAGAÑA MADIEDO**

ASESOR: I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos  
comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Efecto de los procesos de congelación-descongelación  
sobre rodajas de kiwi

que presenta la pasante: Lyssette Magaña Madiedo  
con número de cuenta: 40600977-3 para obtener el título de :  
Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcañi, Méx. a 29 de Junio de 2010

PRESIDENTE I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

VOCAL I.A. Manuel Alarcón López

SECRETARIO I.A. Francisco Javier Moreno López

PRIMER SUPLENTE I.A. María Guadalupe López Franco

SEGUNDO SUPLENTE MC. Araceli Ulloa Saavedra

## **DEDICATORIA**

### *A mis padres*

Porque gracias a su cariño, guía y apoyo he cumplido uno de mis anhelos más grandes, fruto del inmenso amor y confianza que en mi han depositado y sin los cuales no hubiese logrado terminar mis estudios profesionales, que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecida.

### *A mis hermanos*

Esperando sembrar en ellos la semilla de la constancia y superación.

### *A mi abuelo*

Como un testimonio de gratitud y reconocimiento, por el apoyo que siempre me ha brindado.

*Con cariño*

*Lys*

# **AGRADECIMIENTOS**

## **A Dios**

Por tu amor, bondad y generosidad; por protegerme, guiarme e iluminarme; por darme la vida, salud, sabiduría, serenidad, humildad, voluntad y gratitud. Gracias te doy también por la hermosa familia que tengo y por los amigos que has puesto en mi camino, por la paz interior y la alegría de terminar esta etapa de mi vida.

## **A mis padres**

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo y su cariño, muchas gracias por todo lo que me han dado y por estar siempre conmigo. Los amo.

## **A mis hermanos**

Agradezco su apoyo incondicional, espero ser un ejemplo a seguir, sigan como hasta ahora. Los quiero muchísimo.

## **A mi familia**

Abuelos, tíos y primos, gracias por estar a mi lado. Este es el fruto de muchos sacrificios, porque sé que muchas veces estuve ausente, pero hoy comparto mi triunfo con ustedes. Los quiero mucho.

## **A mis amigos**

Gina Alejandra, gracias por escucharme siempre, por ser incondicional, por los buenos momentos, sabes que te quiero mucho amiga. Mario Rogelio, gracias por tu amistad, por tus locuras, por siempre tener un abrazo y una sonrisa para mí, te odio mugroso. Alejandra, Nancy, Tania, Mau, Linda y Maricela les doy las gracias por brindarme su amistad y por hacer más divertida mi estancia en la Universidad, los quiero. Arely, Irais, Maña y Arturo, mil gracias por compartir los últimos semestres conmigo, por estar en las buenas y en las malas, por aconsejarme, regañarme y por los momentos tan divertidos que vivimos juntos, todas esas aventuras,

desveladas y triunfos; los adoro, son una parte muy importante en mi vida, y de alguna forma contribuyeron en mi trabajo de tesis así que les agradezco también por eso, no tienen idea lo mucho que los quiero patansitos.

**Al I.A. Javier Cruz Maranto**, por tus enseñanzas en el aula, por abrirme las puertas de tu casa y de tu vida, por aconsejarme en cada momento. Te quiero hermanito.

**A la I.A. Laura Cortazar Figueroa**, por la gran formación humana y profesional que me brindó, por escucharme en los momentos más difíciles. Mil gracias por su apoyo y sabios consejos, que me hacen sentir un gran cariño por usted.

**Al Ing. Héctor Martínez Martínez**, gerente general de Praxair México S.A. de C.V. (División Centro) por el préstamo del gabinete de congelación criogénica utilizado en la experimentación y por la donación de nitrógeno líquido.

**Al Ing. David Zamora**, por su disposición y asesoramiento técnico en cuanto a la instalación y funcionamiento del gabinete de congelación criogénica.

**Al jurado de esta tesis**, I.A. Manuel Alarcón López, I.A. Javier Moreno López, I.A. Guadalupe López Franco, MC. Araceli Ullua Saavedra, por sus comentarios, sugerencias y opiniones.

**Al Ing. Alfredo Álvarez Cárdenas**, mi asesor de tesis, a quien quiero dar un agradecimiento y reconocimiento especial por ser parte fundamental de este trabajo. Muchas gracias por su paciencia, por sus comentarios y por su confianza al creer en mí y darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

**A cada uno de mis maestros**, porque sin su ayuda y conocimientos no estaría en donde me encuentro ahora. Muchas gracias.

**A la Universidad Nacional Autónoma de México**, máxima casa de estudios del país, institución que me formó profesionalmente y para la cual trabajo, de la cual estaré eternamente agradecida por todo lo que he recibido.

*Muere lentamente quien se transforma en esclavo del hábito, repitiendo todos los días los mismos trayectos, quien no cambia de marca, no se atreve a cambiar el color de su vestimenta, o bien no conversa con quien no conoce. Muere lentamente quien no voltea la mesa cuando está infeliz en el trabajo, quien no arriesga lo cierto por lo incierto para ir detrás de un sueño, quien no se permite por lo menos una vez en la vida, huir de los consejos sensatos.*

*Muere lentamente quien no viaja, quien no lee, quien no oye música, quien no encuentra gracia en sí mismo. Muere lentamente quien destruye su amor propio, quien no se deja ayudar. Muere lentamente, quien pasa los días quejándose de su mala suerte o de la lluvia incesante.*

*Muere lentamente, quien abandona un proyecto antes de iniciarlo, no preguntando de un asunto que desconoce o no respondiendo cuando le indagan sobre algo que sabe.*

*Muere lentamente quien evita una pasión y su remolino de emociones, justamente esas que regresan el brillo a los ojos y restauran los corazones destrozados.*

*Evitemos la muerte en suaves cuotas, recordando siempre que estar vivo exige un esfuerzo mucho mayor que el simple hecho de respirar. Solamente la ardiente paciencia hará que conquistemos una espléndida felicidad.*

**Pablo Neruda**

**“Por mi raza hablará el espíritu”**

*José Vasconcelos*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1.Generalidades del kiwi	3
1.1.1.Variedades del kiwi	3
1.1.2.Composición química y valor nutritivo	4
1.1.3. Índices de calidad	5
1.1.4. Manejo postcosecha del kiwi	5
1.2.Congelación de los alimentos	6
1.2.1. Fundamentos de la congelación	7
1.2.2. Descripción del proceso de congelación	8
1.2.3. Tiempo de congelación	10
1.2.4. Efectos de la congelación del agua en la calidad de los alimentos	12
1.2.4.1. Daños mecánicos provocados por el incremento de volumen del agua al congelarse	12
1.2.4.2. Influencia de la velocidad de congelación y tamaño de los cristales de hielo en la calidad de los alimentos	13
1.2.5. Congelación de frutas	16
1.3. Métodos de congelación	17
1.3.1. Instalaciones frigoríficas mecánicas	17
1.3.1.1. Congelación por aire	17
1.3.1.2. Congelación por inmersión	18
1.3.1.3. Congelación por contacto con superficie enfriada	19
1.3.2. Congelación criogénica	19
1.3.2.1. Congelación con dióxido de carbono	20
1.3.2.2. Congelación con nitrógeno líquido	21
1.4. Descongelación de los alimentos	22
1.4.1. Métodos de descongelación	22
1.4.1.1. Método de calentamiento superficial	23
1.4.1.2. Método de calentamiento interno	24
1.4.2. Condiciones de calidad	25

### CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1. Definición de objetivos	27
2.2. Selección y justificación de variables	27
2.3. Diseño experimental	28
2.4. Caracterización y control de la materia prima	29
2.4.1. Material biológico	29
2.4.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima	30
2.5. Materiales y métodos	30

2.5.1.	Actividad preliminar 1: determinación de tiempos de congelación	30
2.5.2.	Actividad preliminar 2: determinación de tiempos de descongelación	31
2.5.3.	Congelación de rodajas de kiwi	32
2.5.4.	Descongelación de rodajas de kiwi	37
2.5.5.	Determinación del grado de exudación	38
2.5.6.	Determinación del porcentaje de deformación	39
<b>CAPÍTULO III: TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		
3.1.	Tiempos y velocidades de congelación	41
3.2.	Tiempos y velocidades de descongelación	47
3.3.	Curvas de congelación-descongelación	52
3.4.	Porcentaje de exudación	55
3.5.	Porcentaje de deformación	62
<b>CONCLUSIONES</b>		69
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		71
<b>APÉNDICE 1: Glosario de términos</b>		A1
<b>ANEXO 1: Ficha de datos de seguridad del nitrógeno líquido</b>		
<b>ANEXO 2: Ficha de datos de seguridad del dióxido de carbono sólido</b>		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Principales variedades del kiwi	4
Figura 2.	Curvas de congelación	9
Figura 3.	Posición del termopar en las rodajas de kiwi	30
Figura 4.	Termopar introducido en el centro térmico de una rodaja de kiwi	31
Figura 5.	Termopar introducido en una rodaja de kiwi sometida a descongelación en una bolsa de polietileno	32
Figura 6.	Componentes del equipo de congelación criogénica utilizado en la experimentación	33
Figura 7.	Congelación de rodajas de kiwi en un gabinete de congelación criogénica por medio de contacto con gas frío de nitrógeno	34
Figura 8.	Acomodo de bloques de CO <sub>2</sub> sólido para la congelación de rodajas de kiwi	35
Figura 9.	Metodología para la congelación de rodajas de kiwi con CO <sub>2</sub> sólido	36
Figura 10.	Cuadrantes de la cámara de congelación	37
Figura 11.	Metodología para la obtención del porcentaje de exudación	39
Figura 12.	Determinación del porcentaje de deformación de las rodajas de kiwi	40
Figura 13.	Curvas comparativas de congelación de rodajas de kiwi	43
Figura 14.	Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas en cámara de congelación	44
Figura 15.	Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas mediante contacto con gas frío de nitrógeno	45
Figura 16.	Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con dióxido de carbono sólido	45

Figura 17.	Gráfico estadístico de comparación de medias de velocidad de congelación	46
Figura 18.	Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja y la técnica de congelación en la velocidad de congelación	47
Figura 19.	Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas en cámara de congelación	49
Figura 20.	Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas mediante contacto con gas frío de nitrógeno	49
Figura 21.	Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con dióxido de carbono sólido	50
Figura 22.	Gráfico estadístico de comparación de medias de velocidad de descongelación	50
Figura 23.	Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja, técnica de congelación y técnica de descongelación en la velocidad de descongelación	51
Figura 24.	Curvas de congelación-descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor	53
Figura 25.	Curvas de congelación-descongelación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor	54
Figura 26.	Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas a temperatura ambiente	57
Figura 27.	Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas en cámara de refrigeración	57
Figura 28.	Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas	59
Figura 29.	Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas	59
Figura 30.	Gráfico estadístico de comparación de medias de porcentaje de exudación	60
Figura 31.	Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja, técnica de congelación y técnica de descongelación en el porcentaje de exudación	61

Figura 32.	Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas a temperatura ambiente	64
Figura 33.	Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas en cámara de refrigeración	64
Figura 34.	Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas	65
Figura 35.	Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas	65
Figura 36.	Gráfico estadístico de comparación de medias de porcentaje de deformación	66
Figura 37.	Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja, técnica de congelación y técnica de descongelación en el porcentaje de deformación	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición química del kiwi	4
Tabla 2.	Métodos de congelación: velocidades y tiempos de congelación	13
Tabla 3.	Propiedades del dióxido de carbono	21
Tabla 4.	Propiedades del nitrógeno	21
Tabla 5.	Factores de variación y variables de la experimentación	28
Tabla 6.	Combinación de los factores de variación basada en un diseño factorial general completo	29
Tabla 7.	Tiempos y velocidades de congelación de cada uno de los espesores de rodajas de kiwi y métodos de congelación utilizados	42
Tabla 8.	Tiempos y velocidades de descongelación de rodajas de kiwi correspondientes a cada una de las combinaciones de métodos de congelación-descongelación	48
Tabla 9.	Porcentajes de exudación de rodajas de kiwi sometidas a un proceso de congelación-descongelación	56
Tabla 10.	Porcentajes de exudación de rodajas de kiwi sometidas a un proceso de congelación-descongelación	63

## RESUMEN

El propósito de este trabajo fue evaluar el efecto del proceso de congelación-descongelación sobre rodajas de kiwi, determinando la relación entre las velocidades tanto de congelación como de descongelación y los atributos de calidad de dicho fruto (porcentaje de deformación y grado de exudación). Para esto, se congelaron rodajas de kiwi (*Actinidia deliciosa*) de la variedad Hayward de 0.8 y 1.2 cm de espesor mediante distintas técnicas: congelación en cámara de aire forzado, contacto con dióxido de carbono sólido y contacto con gas frío de nitrógeno, con temperaturas del medio de -25, -78 y -130 °C respectivamente; que posteriormente fueron sometidas a dos diferentes métodos de descongelación: temperatura ambiente ( $19 \pm 1^\circ\text{C}$ ) y cámara de refrigeración ( $4.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ). Los eventos se llevaron a cabo con base en un diseño factorial general completo con una repetición de cada uno, realizando un total de 24 experimentos. Se congelaron 5 rodajas de kiwi por evento, de las cuales se evaluó el grado de exudación y el porcentaje de deformación después de ser descongeladas. Ante la variación de los factores de estudio, se obtuvo un comportamiento del grado de exudación similar al del porcentaje de deformación, infiriendo que existe una relación entre estos índices de calidad. La congelación lenta (cámara de aire forzado) preservó en menor grado la estructura celular del kiwi, ya que las rodajas congeladas con esta técnica presentaron altos índices de exudación y deformación, obteniendo grados de exudación de 35 a 164% más altos en comparación con las otras técnicas de congelación, y valores de 40 a 118% más altos en el porcentaje de deformación. El porcentaje de deformación y el grado de exudación se vieron reducidos con la congelación criogénica (contacto con dióxido de carbono sólido y gas frío de nitrógeno), obteniendo mejores resultados con el dióxido de carbono sólido, técnica con la cual se registraron las mayores velocidades de congelación. Las pérdidas de producto por exudación resultaron particularmente elevadas cuando las rodajas eran descongeladas a temperatura ambiente (15-49% mayores comparadas con el método de refrigeración). Se encontró que las rodajas de kiwi de 1.2 cm congeladas con dióxido de carbono sólido en combinación con una descongelación lenta (cámara de refrigeración) ofrecen la mejor alternativa para una mayor reversibilidad de la calidad inicial del producto.

## INTRODUCCIÓN

Existe en la actualidad un mercado amplio para productos elaborados a base de kiwi, ya sea en pulpa, concentrado o en rodajas. Sin embargo, en México, se ha obstaculizado el rápido desarrollo de este mercado debido a su baja disponibilidad al ser un producto de importación. La congelación es una opción para incrementar la disponibilidad y conservación de este fruto, manteniendo en mayor medida las propiedades del kiwi fresco en comparación con otras tecnologías como la deshidratación osmótica o el enlatado (Talens *et al.*, 2003).

El tratamiento de productos alimenticios mediante congelación constituye un medio eficaz para mantener casi inalterables sus características durante un largo tiempo gracias a una serie de procesos, entre los que destacan el descenso de la temperatura del producto, la disminución de la velocidad de las reacciones enzimáticas y la inhibición de la actividad microbiológica. El objetivo de la congelación es hacer este proceso reversible, sin embargo, la modificación de las fases del agua con el característico aumento del volumen, así como la acción de soluciones celulares concentradas, dañan la estructura coloidal de los productos. La magnitud y el carácter de estas variaciones, en su mayoría irreversibles, dependen del tipo de producto y de la realización técnica del proceso de congelación.

Generalmente, la calidad de los alimentos congelados se encuentra estrechamente relacionada con los procesos de congelación-descongelación. Un método de descongelación adecuado permite obtener alimentos de buena calidad, en caso contrario, la pérdida de peso por exudación provoca que los productos no recuperen sus propiedades iniciales, lo cual depende de igual manera del método de congelación empleado previamente, que determinará el tamaño de los cristales de hielo y el daño mecánico sobre las estructuras celulares de los alimentos (Bing *et al.*, 2001).

Conservar la consistencia y reducir la pérdida de jugo del producto por exudación, son los índices de calidad más importantes en la fruta descongelada, ya que el exudado puede

motivar considerables pérdidas de sustancias hidrosolubles como vitaminas y sales minerales (Gruda, 1986), por lo que la magnitud de la pérdida de jugo es el índice más importante de la reversibilidad de la congelación.

Cuando el método de congelación es lento se forman cristales de hielo de gran tamaño que causan daños a los tejidos y paredes celulares que originan cambios importantes en la textura y apariencia del alimento; en cambio, una congelación rápida permite retener agua dentro de las células y los cristales de hielo formados son de menor tamaño, lo que disminuye los daños mecánicos favoreciendo la calidad del producto (Camacho *et al.*, 2005).

De esta forma, la congelación criogénica, ya sea con N<sub>2</sub> líquido o CO<sub>2</sub>, es una alternativa para el procesamiento de alimentos por las ventajas que brinda sobre los sistemas mecánicos, ya que ofrece mejor calidad en términos de textura, sabor y apariencia (Nazrul, 2006), además resulta en menos pérdidas de producto debidas tanto a la deshidratación como a la exudación. Este ahorro puede representar hasta el 5% del peso de algunos alimentos (Potter, 1978).

Estudios recientes sobre el efecto del proceso de congelación-descongelación en las propiedades texturales y en la pérdida de producto por efecto de la deshidratación y exudación, reportan el efecto de la velocidad de congelación en la calidad del producto, evidenciando las ventajas de la congelación criogénica sobre la congelación por aire forzado en alimentos como la manzana (Chassagne-Berces *et al.*, 2009) y camarón (Boonsumrej *et al.*, 2006).

Con respecto al kiwi, se han realizado investigaciones experimentales enfocadas a la medición de las propiedades térmicas y componentes volátiles del fruto fresco y congelado (Tocci *et al.*, 2008; Talens *et al.*, 2003), y se han obtenido imágenes de su estructura celular después de ser descongelado (Kerr *et al.*, 1997); sin embargo, no se reportan investigaciones enfocadas al estudio de la congelación-descongelación de dicho fruto.

# CAPÍTULO I

---

Antecedentes

## CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

### 1.1. Generalidades del kiwi

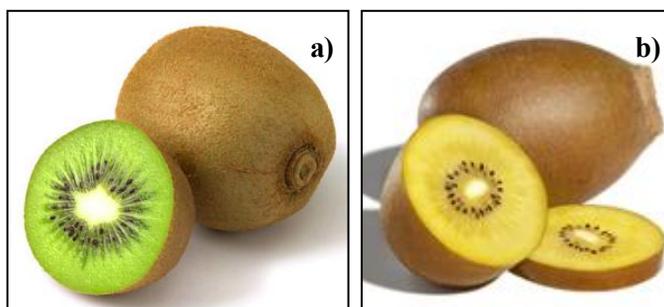
El kiwi es una planta trepadora originaria de China. Su cultura fue extendida con fuerza hacia el resto del mundo donde por los años 70, Estados Unidos llegó a alcanzar una notable producción y a principios del siglo XX fue domesticada en Nueva Zelanda. Actualmente se ha despertado gran interés en el cultivo de kiwi debido a los buenos resultados alcanzados en cuanto al potencial productivo y calidad de sus frutos. Los países pioneros en producción de kiwi son: Italia, Nueva Zelanda y Chile.

En cuanto al fruto, el kiwi es una baya de forma elipsoidal con piel vellosa y de tono entre verde y pardo, que encierra en su interior una pulpa verde brillante y diminutas semillas negras comestibles dispuestas radialmente alrededor del corazón amarillento de la fruta. Estos frutos pesan, aproximadamente entre 50 y 90 gramos. Su aroma es suave y su sabor dulce y ligeramente ácido. El kiwi es un fruto climatérico y parte importante del proceso de maduración se produce durante la conservación, el fruto no presenta cambios externos durante la maduración de la planta, por lo cual se hace necesario recurrir a otros indicadores de madurez para determinar el momento de cosecha, los más relevantes son la firmeza de la pulpa y el contenido de sólidos solubles (Jerez, 2004).

Los kiwis no son frutos propios de una estación, sino que desde hace tiempo pueden cosecharse a lo largo del año. Es un fruto que sigue su proceso de maduración después de ser recogido del árbol, sin pérdida de sus cualidades, lo que facilita su manipulación y transporte.

**1.1.1. Variedades del kiwi.** Existen más de 400 variedades de kiwi, de las cuales destacan las siguientes dos:

(1) Hayward. Es la variedad más conocida, presenta un tamaño cuyo peso puede llegar hasta los 100 gramos (Mainland, 2006).



*Figura 1.* Principales variedades del kiwi. a) Variedad Hayward, b) Variedad Gold.

(2) Gold. Variedad de reciente aparición cuya piel es de color oro oscuro y que a diferencia de la variedad Hayward no se encuentra recubierta por vellosidades. Su pulpa es color amarillo y su sabor es dulce (Mainland, 2006).

**1.1.2. Composición química y valor nutritivo.** En la siguiente tabla se presenta la composición química del kiwi, incluyendo macronutrientes, vitaminas y minerales.

Tabla 1  
*Composición química del kiwi (Mainland, 2006).*

<b>Componentes</b>	<b>g/100g</b>
Proteínas	1
Carbohidratos	12
Lípidos	0.6
Agua	83
<b>Vitaminas</b>	<b>mg/100g</b>
Vitamina A	370
Vitamina B1	17
Vitamina B2	50
Vitamina B6	120
Vitamina C	105
<b>Sales minerales</b>	<b>mg/100g</b>
Potasio	340
Sodio	9.5
Calcio	37
Magnesio	20
Hierro	0.9
Fósforo	23

**1.1.3. Índices de calidad.** Las características más sobresalientes que determinan la aceptación del kiwi son su sabor, aporte nutritivo, apariencia interna y disponibilidad durante casi todo el año, debido a que se produce en ambos hemisferios (Guamán, 2006), además de poder almacenarse bajo condiciones adecuadas (0 a 4°C) durante 6 y 8 meses (Barrett, 2005).

Crisosto (2007) refiere los siguientes índices de calidad para el kiwi una vez cosechado:

- (1) Ausencia de grietas de crecimiento, daños por insectos, magulladuras cicatrices, daños por sol, degradación interna y pudriciones.
- (2) Un mínimo de 14% de contenido de sólidos solubles en la madurez (listos para el consumo).
- (3) Una firmeza de pulpa de 2 a 3 lbf (fuerza de penetración) en estado de madurez.
- (4) Contenido de vitamina C de 80 a 110 mg/100 g.

**1.1.4. Manejo postcosecha del kiwi.** El problema más grave del kiwi, reconocido mundialmente, es el deterioro de la calidad del fruto, causada por la pérdida de firmeza y pudriciones postcosecha que surgen durante el almacenamiento (Jerez, 2004).

El ablandamiento posterior a la cosecha es el cambio más importante que afecta la calidad y vida de postcosecha de los frutos de kiwi. Dependiendo de la madurez a la cosecha, los kiwis mantienen su firmeza a temperatura ambiente por 4-5 días. Posteriormente, el ablandamiento se hace más importante, produciendo una disminución de alrededor de un 20% de la firmeza inicial de cosecha. Este proceso puede ser acelerado por exposición a etileno o retrasado mediante almacenamiento a bajas temperaturas, con o sin atmósfera controlada (Guamán, 2006).

El hecho de que cuanto más rápidamente se elimine el calor de campo y se enfríe la fruta a temperatura de almacenamiento, más larga será la vida útil del producto, se considera un axioma. Las principales razones para pre-enfriar la fruta inmediatamente después de la recolección incluyen la reducción del calor de respiración, la disminución de la pérdida de agua y el retraso en el deterioro causado por patógenos. Así, la mayoría de las frutas se benefician de un enfriamiento rápido, sin embargo, hay unas pocas excepciones en las que la

calidad de almacenamiento mejorará si se retrasa la refrigeración, dos ejemplos son el kiwi y la nectarina. Ambas frutas se benefician si permanecen a temperatura ambiente durante un cierto periodo de tiempo después de la recolección.

El kiwi desarrolla una alteración en almacenamiento debido a *Botrytis cinérea*, que penetra en la fruta por el extremo del pedúnculo por donde se coge el fruto de la mata. Si la fruta se mantiene durante 24-72 horas después de la recolección a temperatura ambiente y luego se enfría a su temperatura de almacenamiento (0°C), el extremo cortado desarrolla una barrera física contra el moho, lo que reduce el nivel de deterioro. La mejor temperatura para este almacenamiento retardado está entre 10 y 20°C (Knee, 2008).

La temperatura y humedad relativa óptimas de almacenamiento del kiwi es de 0°C y 90-95% respectivamente, y su punto inicial de congelación es de -1.5°C (Barrett, 2005).

El kiwi es extremadamente sensible al etileno. Con solamente 5-10 ppb de etileno se induce el ablandamiento de la fruta, por lo que se debe evitar la exposición de kiwis inmaduros al etileno durante la cosecha, el transporte y el almacenamiento.

Por otra parte, la exposición de kiwi a atmósferas controladas retrasa la maduración y conserva la firmeza de la pulpa, no obstante, niveles de CO<sub>2</sub> mayores a 7% pueden llevar al deterioro interno de la pulpa (Crisosto, 2007).

## **1.2. Congelación de alimentos**

Entre los procedimientos de conservación de alimentos desempeñan importante papel los métodos basados en la acción de bajas temperaturas, es decir, la refrigeración y la conservación por congelación. Estas técnicas mejoran amplios campos de la comercialización de los alimentos cuando son aplicadas racionalmente, logrando así, un mejor abastecimiento del mercado, una calidad superior y una disminución de las pérdidas del producto (Gruda, 1986).

La congelación es aquella operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, con lo que una porción elevada del agua que contiene cambia de estado formando cristales de hielo (Fellows, 1994). En estas condiciones,

se inhibe el desarrollo de microorganismos deteriorantes y patógenos, asimismo, se disminuye considerablemente la velocidad de las reacciones tanto químicas como enzimáticas que alteran las características de los alimentos a consecuencia de la transformación del agua en hielo y de la reducción de la actividad acuosa del producto, disminuyendo así la cantidad de agua disponible para esos fenómenos. De esta manera, la congelación permite que los alimentos conserven en gran proporción sus propiedades organolépticas y valor nutricional, aunque el efecto de la congelación en las características del producto depende de la velocidad del proceso (Camacho *et al.*, 2005).

**1.2.1. Fundamentos de la congelación.** El agua es un componente fundamental de las materias primas y de los productos alimenticios, cuyo contenido está sometido a grandes oscilaciones (en los productos vegetales constituye el 80-95%).

En los alimentos, el agua nunca aparece en estado puro, sino en forma de soluciones; por añadidura, una parte del agua se halla firmemente ligada en las estructuras proteicas y polisacáridas. Estos hechos influyen esencialmente sobre las propiedades físicas del agua y también sobre el propio proceso de congelación. El agua forma con estas sustancias una solución con dispersión de las moléculas. Esto motiva la modificación de las peculiares características físicas del agua, disminuyendo el punto inicial de congelación, aumentando la temperatura de ebullición y reduciendo la tensión de vapor de agua sobre la solución.

Por otra parte, el proceso de congelación de los sistemas biológicos (productos animales y vegetales) cursa de manera algo distinta a la congelación de soluciones físicas. La principal diferencia resulta en la constitución tisular de dichos productos. Los jugos celulares están suspendidos e incluidos en el interior de una membrana celular que posee propiedades especiales, en estos casos, el proceso de congelación provoca la inhibición del desarrollo de los procesos biológicos, además de las manifestaciones normales que son específicas de las soluciones.

Al igual que en las soluciones, el punto inicial de congelación de los sistemas biológicos depende de la concentración del jugo celular. Esta temperatura no es constante, ni se mantiene en un punto determinado. A medida que progresa la congelación de una cantidad cada vez mayor de agua y aumenta la concentración de la solución residual, disminuye la

temperatura crioscópica del sistema. De aquí que la temperatura en la que se inicia la cristalización sea más correcto y conveniente denominarla temperatura crioscópica inicial, o bien, punto inicial de congelación.

El punto inicial de congelación de diversas clases de frutas oscila entre  $-2.67^{\circ}\text{C}$  y  $-0.89^{\circ}\text{C}$ , siendo la temperatura inicial de cristalización del hielo en las células aproximadamente  $0.4^{\circ}\text{C}$  inferior a la temperatura de cristalización de los jugos tisulares de los espacios intracelulares.

La disposición tisular de las materias primas vegetales y las suspensiones contenidas en el seno de las células favorecen la formación de numerosos núcleos de cristalización. Por consiguiente, en el curso de la congelación se depositan en la superficie de los productos cristales de escarcha que también constituyen núcleos de cristalización. A partir de la cristalización de las capas superficiales, las porciones profundas del alimento comienzan a cristalizar, por lo que la congelación de alimentos, sobre todo en aquellos de gran tamaño, debe entenderse como un crecimiento de cristales que se inicia en la capa superficial y luego prosigue hacia el interior (Gruda, 1986).

**1.2.2. Descripción del proceso de congelación.** La congelación de los alimentos implica el retiro de cierta cantidad de calor, tanto sensible como latente. El retiro de calor sensible antes del punto inicial de congelación permite la disminución de temperatura del alimento hasta alcanzar dicho punto. Posteriormente, es retirado calor latente, provocando el cambio de estado del agua del alimento de líquido a sólido. Después del punto de congelación se continúa retirando calor sensible hasta alcanzar la temperatura deseada.

De esta forma, cuando se elimina calor de una masa de agua pura a una velocidad de enfriamiento constante, su temperatura desciende hasta alcanzar los  $0^{\circ}\text{C}$ , momento en que empieza a separarse cierta cantidad de hielo. La temperatura permanece constante hasta que toda el agua es transformada en hielo, debido a que el calor se elimina de la masa de agua en forma de calor latente (Martínez, 1998). Después de la formación total de hielo la temperatura desciende de nuevo, tal como se representa en la gráfica (a) de la figura 2.

La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación. En el caso de la congelación de alimentos dicha curva varía de acuerdo con los siguientes factores:

- \* Método de congelación
- \* Tamaño y forma del alimento
- \* Composición química y propiedades físicas del alimento
- \* Tipo de envase (o ausencia de éste)

En la gráfica (b) de la figura 2 se muestra el curso típico del proceso de congelación de un alimento, donde la presencia de solutos disueltos cambia la curva de congelación del agua en un alimento con respecto al agua pura como consecuencia del descenso del punto inicial de congelación, presentándose así, tres diferentes etapas que corresponden a las fases de la congelación. En la primera fase (A-B) se produce el enfriamiento del producto a congelar, desde la temperatura inicial hasta el punto inicial de congelación. El tramo B-C corresponde a la congelación propiamente dicha, donde la concentración del jugo celular aumenta al incrementarse la cantidad de agua congelada, disminuyendo a la vez constantemente el punto crioscópico. En el punto en que la curva comienza bruscamente a caer (C) se inicia una nueva fase, que es el postenfriamiento del producto congelado. En esta fase (C-D) disminuye la temperatura del alimento congelado, pudiendo finalizar aquí el proceso tecnológico (Martínez, 1998).

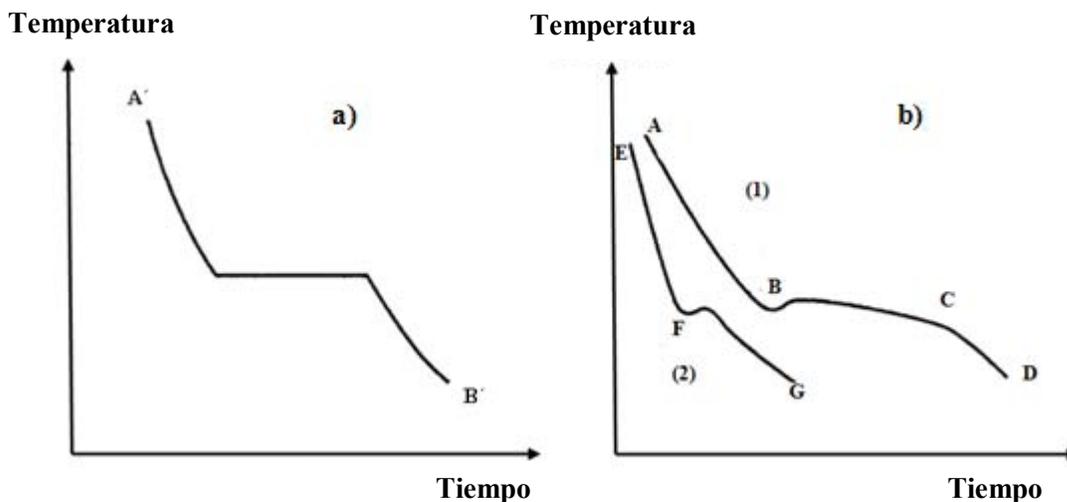


Figura 2. Curvas de congelación. a) Curva típica de congelación del agua, b) Curvas de congelación de alimentos (Martínez, 1998).

En la mayor parte de los alimentos con fase líquida comienza a formarse hielo por debajo de  $-1^{\circ}\text{C}$  y es frecuente además que se produzcan fenómenos de subenfriamiento, es decir, el descenso de la temperatura por debajo del punto de congelación sin que se formen los cristales de hielo correspondientes (Martínez, 1998).

La curva (1) de la gráfica (b) representa el proceso de congelación típico de un alimento con velocidad de congelación lenta, mientras que la curva (2) pertenece al curso del proceso de congelación rápida de un alimento. Se muestra que el subenfriamiento va seguido de un ligero aumento de temperatura, asociado a la generación del correspondiente calor de formación de los primeros cristales de hielo. Por otra parte, la separación de hielo de la fase líquida implica un progresivo incremento en la concentración de solutos y por tanto un progresivo descenso de la temperatura de congelación. Por esta razón, la curva de congelación de un alimento (igual que la de una disolución) no presenta una meseta como la del agua pura, sino un tramo de menor pendiente que corresponde a la eliminación tanto de calor latente del hielo en formación como de calor sensible correspondiente al enfriamiento del agua residual necesario para la progresiva congelación (Martínez, 1998).

**1.2.3. Tiempo de congelación.** El tiempo de congelación es un parámetro básico para el diseño de los sistemas de congelación, y determina las condiciones en las que el alimento se expone a este proceso para alcanzar la temperatura final deseada y la calidad buscada (Casp, 2003).

Si bien resulta difícil definir el tiempo de congelación, se han establecido dos conceptos. El tiempo efectivo de congelación, que es el tiempo necesario para que la temperatura del alimento en su centro térmico descienda desde su valor inicial hasta la temperatura deseada, y el tiempo de congelación nominal, que es el tiempo transcurrido desde que la superficie del alimento alcanza  $0^{\circ}\text{C}$  hasta que su centro térmico se encuentra  $10^{\circ}\text{C}$  por debajo de su temperatura de congelación. El tiempo efectivo de congelación representa una medida del tiempo que el alimento debe permanecer en el equipo de congelación y se utiliza para calcular la capacidad del proceso. En cambio, el tiempo de congelación nominal se emplea para calcular el deterioro sobre el alimento, ya que no toma en consideración las

condiciones iniciales o las diferentes velocidades de congelación en los distintos puntos de su superficie (Fellows, 1994).

El tiempo de congelación de un producto alimenticio depende, entre otros factores, de la forma y dimensiones del producto, de la diferencia de temperatura entre el medio de congelación y el producto a congelar, y de las características del envase.

✳ ***Forma del producto***

Este factor ejerce gran influencia sobre el tiempo de congelación. La congelación en un cilindro o una esfera de diámetro  $d$  es dos o tres veces más rápida que en una placa de espesor  $l=d$ , así mismo, aumentando el espesor de una placa o el diámetro de un cilindro o esfera, se prolonga el tiempo de congelación. En la congelación es importante aprovechar la influencia de la forma del producto sobre el tiempo de congelación; por lo regular se trata de reducir en lo posible el grosor de los productos. También ejerce influencia la elección del método de congelación. Así, por ejemplo, sería impropio congelar frutas de forma esférica o cilíndrica en congeladores de placas múltiples (Gruda, 1986).

✳ ***Diferencia de temperatura***

El tiempo de congelación es inversamente proporcional a la diferencia de temperatura existente entre el producto a congelar y el medio de congelación. Este factor es de gran importancia en las instalaciones de congelación por corriente de aire, en las cuales los coeficientes de transmisión calórica son por lo regular bajos y sólo es posible acortar el tiempo de congelación reduciendo la temperatura de congelación. De esta forma, en los sistemas de congelación criogénica el tiempo de congelación es mucho menor comparado con los sistemas de congelación por corriente de aire, ya que la diferencia de temperatura entre el medio refrigerante y el alimento es mayor (Gruda, 1986).

✳ ***Envase***

El envase utilizado en alimentos congelados, especialmente cuando son recipientes de varias capas, provoca un aumento en el tiempo de congelación, resultando de gran importancia el grosor y el coeficiente de conducción térmica del envase, y el grado de contacto inmediato con el producto (Gruda, 1986).

**1.2.4. Efectos de la congelación del agua en la calidad de los alimentos.** Los alimentos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- \* Los que constituyen un sistema biológico organizado, provisto de una estructura celular organizada, como pueden ser las frutas, las hortalizas, los tubérculos, las carnes, etc.
- \* Los que no poseen una estructura celular organizada, como los zumos de frutas.

Los primeros son los que están en condiciones de sufrir los efectos perjudiciales de la congelación, ya que son los que tienen estructuras que pueden verse afectadas por la aparición de cristales de hielo (Casp, 2003).

Los cambios originados por la congelación en los tejidos biológicos son muy diversos. Una de las consecuencias más destacables del proceso de congelación es el cambio de las propiedades de la membrana celular. Esta pierde su semipermeabilidad y, tras la descongelación, carece de turgencia. El tejido aparece laxo y se produce salida de jugo. Es muy frecuente, además, que el tejido resulte dañado mecánicamente por los cristales de hielo (Gruda, 1986).

**1.2.4.1. Daños mecánicos provocados por el incremento de volumen del agua al congelarse.** El agua pura a 0°C incrementa su volumen un 9% aproximadamente al congelarse a la misma temperatura. Por lo tanto, la formación de hielo irá siempre acompañada de un incremento en el volumen ocupado en la estructura del producto congelado, que producirá daños de mayor o menor magnitud de acuerdo con las características del tejido que se esté congelando. Los materiales con un elevado contenido de agua y pocos espacios intercelulares con aire son especialmente susceptibles a este tipo de daño, ya que no podrán acomodar en sus espacios intercelulares los cristales en crecimiento, minimizando los efectos del incremento de volumen (Casp, 2003).

La dilatación del agua que se produce varía considerablemente de acuerdo con los siguientes factores:

- \* Contenido de agua: a mayor contenido de agua, mayor aumento de volumen.

- \* Disposición celular: los tejidos vegetales poseen espacios intracelulares, rellenos de aire, que absorben los incrementos internos de volumen sin que se aprecien cambios importantes en el volumen global.
- \* Concentración de solutos: las concentraciones elevadas de solutos disminuyen el punto de congelación (Fellows, 1994).

**1.2.4.2. Influencia de la velocidad de congelación y tamaño de los cristales de hielo en la calidad de los alimentos.** En la tecnología de la congelación se pueden distinguir cuatro diferentes métodos de acuerdo a la velocidad de congelación. En la tabla 2 se muestra el rango de velocidades y tiempos de congelación para cada uno de los métodos.

Cabe señalar que existe diferencia entre la velocidad de congelación expresada como el cociente de la diferencia entre la temperatura inicial de congelación y la temperatura final del producto, dividiendo entre el tiempo de congelación ( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) y la velocidad del frente del hielo ( $\text{cm}/\text{h}$ ), definida como la rapidez con la cual se desplaza a través del producto (Zambrano, M. *et al.*, 2009).

Tabla 2  
*Métodos de congelación: velocidades y tiempos de congelación* (Camacho, 2005).

<b>Método de congelación</b>	<b>Velocidad del frente del hielo</b>	<b>Velocidad de congelación</b>	<b>Tiempo de congelación</b>
Muy lenta	< 0.1 cm/h	1-2 $^{\circ}\text{F}/\text{h}$	>24 h
Lenta	0.1 a 0.5 cm/h	2-20 $^{\circ}\text{F}/\text{h}$	3-72 h
Rápida	0.5 a 5 cm/h	1-100 $^{\circ}\text{F}/\text{min}$	< 30 min
Ultrarrápida	>5 cm/h	9-180 $^{\circ}\text{F}/\text{s}$	En el orden de segundos

La formación de cristales de hielo ocurre en dos etapas: la nucleación y el crecimiento de cristales. La nucleación es la iniciación de la congelación e implica la presencia o formación de pequeños núcleos que son los centros de los cristales que se forman. El crecimiento de cristales ocurre sólo después que los núcleos se han formado y excedido un tamaño crítico.

La velocidad de crecimiento de cristales aumenta moderadamente a medida que disminuye la temperatura del producto. El desarrollo de cristales puede ocurrir a temperaturas muy próximas al punto de fusión y la velocidad de crecimiento aumenta moderadamente al aumentar la velocidad de remoción de calor hasta que las bajas temperaturas producen altas viscosidades y la velocidad de crecimiento de cristales disminuye.

El tamaño del cristal está directamente relacionado con el número de núcleos que se forman durante la congelación; la formación de pocos núcleos da como resultado pocos cristales grandes, mientras que el desarrollo de varios núcleos produce muchos cristales pequeños. Esto indica que el tamaño de los cristales en un producto está relacionado directamente con el proceso de nucleación. Pero la nucleación depende del grado de subenfriamiento logrado y en consecuencia, el tamaño de los cristales obtenido se vuelve dependiente de la velocidad de congelación. De este modo, el tamaño medio de los cristales en el producto variará inversamente con el número de núcleos y el número de núcleos puede controlarse mediante la velocidad de remoción de calor. Así, la calidad de los alimentos congelados se encuentra influenciada por la velocidad con que se produce la congelación. Diversas características de calidad están relacionadas con el tamaño de los cristales el cual es una consecuencia de la velocidad con que se produce la congelación. El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los alimentos es el daño que ocasiona en las células el crecimiento de los cristales de hielo.

Si la congelación es lenta, los primeros cristales serán grandes y aparecerán esencialmente en el exterior de las células. Estos grandes cristales provocan compresión mecánica, tendiendo a aplastar las células. Cuando la congelación es rápida, aparece una multitud de pequeños cristales tanto en el interior como en el exterior de las células (Mafart, 1994).

La resistencia de diversos tejidos animales y vegetales a la congelación es muy diversa. Así, las frutas y los vegetales, por ejemplo, presentan una estructura muy rígida por lo que la formación de los cristales de hielo puede afectarlos con mayor facilidad que a las carnes.

La congelación de los tejidos se inicia por la cristalización del agua en los espacios extracelulares puesto que la concentración de solutos es menor que en los espacios intracelulares.

Debido a las propiedades permeables de la membrana celular, en la congelación puede producirse la sustracción de agua de la célula. A partir de las células con jugo hipertónico se difunde el agua hasta los espacios intercelulares, donde se congela. Este efecto, conocido como crioconcentración o crioósmosis, se traduce por un desequilibrio osmótico y migración de agua hacia el exterior, como consecuencia de la diferencia de la presión de vapor de los cristales de hielo con respecto a la del interior de las células, lo que provoca la deshidratación progresiva de las células, la cual no es reversible al descongelar, debido a la semipermeabilidad de las paredes celulares (Brennan, 2008).

El curso de este proceso depende de la velocidad de congelación; cuando ésta es lenta, la deshidratación progresa hasta la extracción de toda el agua libre, quedando sólo el agua ligada dentro de la célula; de esta forma, en un tejido congelado bajo estas condiciones, todo el hielo aparece fuera de las células (Gruda, 1986).

En esta situación se forman grandes cristales de hielo aumentando los espacios extracelulares, mientras que las células plasmolizadas disminuyen considerablemente su volumen. Este desplazamiento del agua y la acción mecánica de los cristales de hielo sobre las paredes celulares provocan afectaciones en la textura y dan lugar a la aparición de exudados durante la descongelación.

En cambio, cuando la congelación es rápida la cristalización se produce casi simultáneamente en los espacios extracelulares e intracelulares. El desplazamiento de agua es pequeño, produciéndose un gran número de cristales pequeños, por lo que las afectaciones sobre el producto resultarán considerablemente menores en comparación con la congelación lenta. No obstante, las velocidades de congelación muy elevadas pueden provocar en algunos alimentos, tensiones internas que pueden causar el agrietamiento o rotura de sus tejidos (Gruda, 1986).

**1.2.5. Congelación de frutas.** Las materias primas destinadas a convertirse en alimentos conservados deben disponerse y prepararse tecnológicamente antes de someterse a esta operación. Las características de esta preparación vienen determinadas por las peculiaridades de la materia prima en cuestión. De forma general, en el proceso de congelación de frutas se realiza lo siguiente:

- (1) Se procede a un lavado de la fruta.
- (2) Se selecciona la fruta. Las muy maduras no aguantarán bien la congelación ya que su estructura se romperá muy fácilmente. Se debe seleccionar fruta con un grado de madurez incipiente, que conserve bien su estructura.
- (3) En algunos casos se debe pelar o deshuesar la fruta.
- (4) Se pueden añadir, si lo permite el proceso tecnológico, sustancias que ayudan a que la fruta soporte mejor la congelación, tales como ácido ascórbico o azúcar.
- (5) Clasificación de la fruta o trozos de frutas por tamaños.
- (6) Congelación en túnel, armario o cámara y posterior envasado. También se puede proceder en primer lugar al envasado y después a la congelación (IIF, 1990).

Algunas variedades de frutas presentan una mayor reversibilidad del proceso de congelación que otras, pero en general se pueden presentar diversos problemas, tales como:

- \* Pardeamiento del color debido a la acción de enzimas en presencia del oxígeno del aire.
- \* Rotura de la estructura celular de la fruta, que suele ser muy delicada (Madrid, 1991).

La técnica y la rapidez de congelación de las frutas pueden variar mucho según la naturaleza del producto, su destino final y las cualidades particulares que se desean preservar. Como se ha mencionado anteriormente, la congelación rompe la estructura de la mayor parte de las frutas y destruye la turgencia de los tejidos, de manera mucho más marcada que en el caso de las hortalizas. Esta observación ha conducido a experimentar procedimientos de congelación muy rápida (por ejemplo, dióxido de carbono sólido o nitrógeno líquido) para intentar preservar la textura natural de las frutas (IIF, 1990).

### **1.3. Métodos de congelación**

Las instalaciones de congelación pueden clasificarse de forma general en dos métodos, los cuales son la congelación a través de sistemas de refrigeración mecánicos y los sistemas de congelación criogénica.

Para la elección del sistema de congelación adecuado deben tomarse en consideración los siguientes factores:

- \* La velocidad de congelación requerida por el alimento.
- \* El tamaño, forma y sistema de envasado del alimento.
- \* La operación del sistema (continuo o discontinuo), la cual depende del ritmo de fabricación y de la variedad de productos a congelar.

**1.3.1. Instalaciones frigoríficas mecánicas.** Los congeladores mecánicos utilizan como medio de congelación el aire enfriado, un líquido o superficies frías. En seguida se describen cada una de estas técnicas de congelación.

**1.3.1.1. Congelación por aire.** En este caso el fluido refrigerante es aire impulsado y enfriado a través del evaporador de una instalación frigorífica, siendo regulada la temperatura del aire mediante un termostato.

Dicha instalación frigorífica se basa en la utilización de fluidos refrigerantes, que son fluidos condensables cuyo punto de ebullición a la presión de una atmósfera está por debajo de 0°C y, en el caso particular de la congelación de alimentos por debajo de -18°C. Los principales elementos de que consta una instalación frigorífica son el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión. En el evaporador entra el refrigerante en estado mezcla líquido-vapor a baja presión y se evapora a temperatura y presión constantes, tomando el calor latente de vaporización del cuerpo que se desea enfriar, posteriormente, el refrigerante en estado de vapor pasa a un compresor movido por un motor donde se comprime hasta una presión más alta, suficiente para su condensación. El refrigerante nuevamente en estado líquido y a presión alta se dirige desde el condensador a una válvula de expansión que regula el flujo y reduce la presión del refrigerante, entrando éste en el evaporador para repetir el ciclo (Aguado, 2002).

Estos sistemas de congelación son los más clásicos y los más extendidos por su polivalencia. En primer lugar, el aire es un fluido refrigerante perfectamente compatible con el alimento. Por otra parte, los congeladores por aire no imponen ninguna restricción en lo que concierne a la forma y dimensiones de los productos tratados. Sin embargo, aún cuando es impulsado, el aire presenta débiles coeficientes de transporte de calor superficial (25 a 35 W/m<sup>2</sup>°C) y su calor específico es muy bajo (1 kJ/kg°C), por lo que el ventilador debe mover grandes volúmenes de aire para absorber el calor cedido por los productos congelados. Además, el aire tiende a desecar la superficie del producto, lo que conlleva a una pérdida de masa (0.5 - 4%) que afecta a la calidad y al rendimiento del producto. Los congeladores por aire pueden ser discontinuos o continuos (Mafart, 1994).

**Congeladores discontinuos.** Son cámaras simples aisladas, donde los motores de los ventiladores se encuentran en la parte externa con el fin de evitar el desprendimiento de calor en el interior. Los productos se disponen sobre carros o sobre pallets (Mafart, 1994).

**Congeladores continuos.** Dentro de los equipos de congelación continuos podemos encontrar los túneles, ya sea de cajas, de cintas transportadoras o de lecho fluidizado.

*Túneles de cajas.* Los productos son introducidos en cajas de embalaje abiertas que avanzan en continuo (Mafart, 1994).

*Túneles de cintas transportadoras.* Una cinta transportadora permite el avance del producto. Los más clásicos son equipos lineales que tienen el inconveniente de ocupar mucha superficie. Los equipos en espiral emplean una cinta que efectúa un recorrido helicoidal ascendente en el interior de una cámara térmicamente aislada (Mafart, 1994).

*Túneles de lecho fluidizado.* El aire atraviesa en sentido ascendente el lecho del producto, con un caudal suficiente para mantenerlo en suspensión y “fluidizarlo”. La principal ventaja de la fluidización es que evita la formación de un lecho compacto, lo que permite mantener toda la superficie externa del producto en contacto con el aire (Mafart, 1994).

**1.3.1.2. Congelación por inmersión.** Los alimentos se sumergen en un recipiente que contiene un fluido refrigerante o bien un fluido frigorígeno. El congelador no es más que una instalación frigorífica clásica cuyo evaporador es el depósito de inmersión (Mafart, 1994).

**1.3.1.3. Congelación por contacto con superficie enfriada.** El producto se enfría por contacto directo con una superficie sólida enfriada por un fluido frigorígeno o un fluido refrigerante. Este tipo de congelación se adapta a productos sólidos a granel como pescado, o bien a productos líquidos o pastosos (Mafart, 1994).

**Congeladores de placas.** La superficie fría está repartida en un conjunto de placas paralelas dispuestas horizontal o verticalmente. El principal inconveniente de los congeladores de placas es que no están adaptados al funcionamiento en continuo (Mafart, 1994).

**Congeladores de tambor o de superficie rascada.** El producto (líquido o pastoso) se dispone sobre la superficie fría de un tambor equipado de una doble camisa, dentro de la cual circula amoníaco, salmuera o un refrigerante fluorocarbonado. Al final de cada ciclo, una cuchilla va rascando la capa de producto a lo largo de una generatriz (Fellows, 1994).

**Congeladores de cinta transportadora.** El principio de estos equipos es el mismo que el de los congeladores de tambor, con la diferencia que el producto avanza por traslación sobre una cinta lineal en lugar de seguir una trayectoria rotativa sobre un tambor (Mafart, 1994).

**1.3.2. Congelación criogénica.** La palabra criogenia deriva del griego *crios* que significa frío y *genea* que significa nacimiento. En la práctica, la criogenia se define como la ciencia dedicada a la producción de bajas temperaturas, en general por debajo de  $-100^{\circ}\text{C}$  (Madrid, 1991).

Los sistemas de congelación criogénica se caracterizan porque en estos el compuesto criogénico cambia de estado por medio del contacto con el alimento, captando rápidamente del mismo el calor latente de vaporización o sublimación, congelándolo rápidamente (Fellows, 1994). Los compuestos refrigerantes más comunes son el nitrógeno líquido y el dióxido de carbono sólido o líquido.

Las ventajas e inconvenientes de la criogenia se resumen en tres puntos esenciales:

- (1) Congelación muy rápida gracias a un buen coeficiente de convección y a un gradiente de temperatura elevado entre el producto y el fluido. Esta rapidez

conlleva no sólo la compacidad de los equipos sino también una mejora de la calidad del producto.

- (2) Simplicidad y bajo costo de inversión, debido a que los congeladores no precisan una instalación frigorífica, sino solamente un túnel, aspersores equipados de electroválvulas reguladas por un termostato y un sistema de ventilación suave, a fin de homogeneizar la distribución del fluido en el túnel.
- (3) Costo de funcionamiento elevado.

Mientras que en el frío mecánico el fluido frigorígeno de la instalación frigorífica se utiliza en circuito cerrado y además el fluido frigorífico del congelador es reciclado, el propio principio del frío criogénico impone la utilización del fluido en circuito abierto, sin posible reutilización, razón por la cual la criogenia se reserva a casos muy específicos: productos de alto valor añadido, estacionales o con bajos volúmenes de producción (Mafart, 1994).

**1.3.2.1. Congelación con dióxido de carbono.** El dióxido de carbono o anhídrido carbónico es un gas en condiciones normales (20°C de temperatura y 1kg/cm<sup>2</sup> de presión). Se encuentra presente en la atmósfera en una proporción variable, comprendida entre el 0.03 y el 0.06% en volumen. Es incoloro e inodoro y con un sabor ácido. No es tóxico ni inflamable, salvo en concentraciones elevadas (Madrid, 1991).

El dióxido de carbono en estado sólido se denomina hielo seco, el cual se encuentra a una temperatura de -78°C a presión atmosférica. A diferencia del hielo de agua, el hielo seco no se derrite. En lugar de esto, sublima (cambia directamente de estado sólido a gas), liberando CO<sub>2</sub>.

El hielo seco se produce por compresión y enfriamiento de CO<sub>2</sub> gas a altas presiones para obtener CO<sub>2</sub> líquido, el cual se expande a presión atmosférica para producir nieve carbónica. Esta nieve se comprime hidráulicamente en una cámara o matriz para formar hielo seco en bloques. En la tabla 3, se muestran las características más importantes del CO<sub>2</sub>.

Tabla 3  
*Propiedades del dióxido de carbono* (Madrid, 1991).

<b>Símbolo químico</b>	CO <sub>2</sub>
<b>Peso molecular</b>	44.01
<b>Temperatura crítica</b>	31°C
<b>Temperatura de ebullición a 1kg/cm<sup>2</sup></b>	-78.5°C
<b>Densidad en estado líquido (a 1 atm y -79.8°C)</b>	1.562 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad de gas (a 1 atm)</b>	2.814 kg/m <sup>3</sup>
<b>Calor latente de vaporización</b>	136.7 kcal/kg
<b>Punto triple</b>	-56.57°C, 5.185 Bar

**1.3.2.2. Congelación con nitrógeno líquido.** El nitrógeno, a 20°C de temperatura y 1 kg/cm<sup>2</sup> de presión, es un gas incoloro, inodoro y caracterizado principalmente por su gran inercia química (no ataca o reacciona con otros productos), lo que favorece la conservación de productos alimenticios (Madrid, 1991).

En la tabla 4 se presentan las características más importantes del nitrógeno. Como se muestra en dicha tabla, el nitrógeno líquido se expande al pasar de líquido a gas hasta 696.5 veces su volumen, cediendo su calor latente (47.74kcal/kg) en el proceso.

Tabla 4  
*Propiedades del nitrógeno* (Madrid, 1991).

<b>Símbolo químico</b>	N <sub>2</sub>
<b>Peso molecular</b>	28.0134
<b>Volumen de expansión (líquido-gas)</b>	696.5
<b>Temperatura de ebullición a 1kg/cm<sup>2</sup></b>	-195.8°C
<b>Densidad en estado líquido</b>	808.60 kg/m <sup>3</sup>
<b>Calor latente de vaporización</b>	47.74 kcal/kg
<b>Punto triple</b>	-210°C, 0.1253 Bar

La inmersión directa de un alimento en nitrógeno líquido provoca una disminución muy rápida de la temperatura, en ocasiones con resultados desfavorables, lo que ha generado

que los sistemas de congelación por inmersión sean aplicados a una gama limitada de productos. La técnica de aspersion, en cambio, es menos severa sobre el alimento, por lo que es la más comúnmente empleada (Khadatkar *et al*, 2004).

La cantidad requerida de nitrógeno líquido para el proceso de congelación depende de la tasa de evaporación de las gotas que salen del aspersor, del nivel de contacto entre las gotas y la superficie del alimento y del diámetro inicial de las gotas (Khadatkar *et al*, 2004).

#### **1.4. Descongelación de los alimentos**

Los alimentos congelados deben tratarse antes de su empleo, con objeto de prepararlos para el consumo o para posteriores preparaciones, de acuerdo con la clase y finalidad de utilización y de la naturaleza del tratamiento tecnológico previo a la congelación. Estas operaciones, denominadas muchas veces en la tecnología frigorífica como *restitución de los alimentos congelados*, constituyen la última fase del tratamiento de congelación y tienen por objeto poner a los productos en un estado lo más cercano posible al que exhibían antes de ser congelados (Gruda, 1986). Fundamental importancia tiene a este respecto la descongelación, es decir, el proceso de elevación paulatina de la temperatura del producto congelado hasta una temperatura superior al punto inicial de congelación (Plank, 1984). La finalidad de la descongelación es conseguir la fusión de los cristales de hielo mediante el suministro de cierto tipo de energía al producto, de tal forma que recupere al máximo sus características iniciales, con un mínimo de pérdida en su calidad.

Al ser la conductividad térmica del agua líquida menor que la del hielo, la transmisión de calor externo resulta más difícil a medida que progresa la descongelación del alimento. Por consiguiente, el tiempo que un alimento tarda en descongelarse dependerá tanto de su tamaño y forma, como de la conductividad térmica del envase. El calentamiento con un horno de microondas es una excepción, puesto que en este caso el calor actúa en el interior del alimento sobre todos aquellos puntos donde puede tener lugar una agitación molecular, y no desde la superficie del alimento hacia el interior del mismo (IIF, 1990).

**1.4.1. Métodos de descongelación.** La descongelación de alimentos congelados puede llevarse a cabo en medios diferentes y utilizando distintas fuentes de calor. Las diferentes

técnicas de congelación pueden agruparse dentro de dos métodos. El primero consiste en aportar calor a la superficie del producto, mientras que en el segundo el calor se genera dentro del producto.

**1.4.1.1. Método de calentamiento superficial.** Consiste en aportar calor al producto exponiendo la superficie de éste a la acción de aire, vapor de agua, líquido o a la influencia de superficies calientes.

Al utilizar procedimientos de calentamiento superficial, se acorta el tiempo de descongelación disminuyendo las dimensiones de los productos e incrementando la diferencia de temperatura entre el producto y el ambiente.

*Descongelación con aire.* La descongelación se practica con aire en reposo o con aire en movimiento. La duración e influencia tecnológica del proceso de descongelación dependen de las condiciones del aire. Se recomienda en general que la temperatura circundante no sea mayor de 20°C y que la humedad relativa del aire se mantenga por encima del 90%.

En la descongelación con aire, la transmisión del calor se realiza por dos procesos que cursan simultáneamente:

- (1) Intercambio del calor entre la superficie del producto y el medio circundante.
- (2) Conducción del calor en el interior del producto.

El proceso de descongelación al aire puede dividirse en dos etapas: calentamiento del producto congelado desde la temperatura inicial hasta alcanzar la temperatura crioscópica en la superficie, y la descongelación propiamente dicha, en la cual se produce un cambio en el estado de agregación del agua en todo el producto (Gruda, 1986).

*Descongelación en vacío.* Se basa en aprovechar la entalpía latente de evaporación con temperaturas que no ejercen ninguna modificación negativa sobre la superficie del producto. El alimento congelado se coloca en una cámara de vacío, extrayendo el aire e introduciendo vapor. La temperatura de evaporación de agua depende del vacío alcanzado (Gruda, 1986).

*Descongelación en líquidos.* La técnica de descongelación en líquidos comúnmente emplea agua, aunque también suelen utilizarse soluciones de cloruro de sodio, ya sea por

inmersión o aspersión. En la descongelación de productos sin envase, el calentamiento de la superficie del producto por contacto con un líquido es más perjudicial que la descongelación con aire, ya que simultáneamente se producen la absorción de agua y difusión de sustancias solubles desde el producto hasta el líquido (Gruda, 1986).

*Descongelación por contacto.* Los alimentos de forma regular congelados en aparatos de placas múltiples también pueden descongelarse de la misma manera utilizando equipos similares. La descongelación con aparatos de contacto puede acelerarse con un calentamiento adicional de resistencia (Gruda, 1986).

**1.4.1.2. Método de calentamiento interno.** Además de los procedimientos en los que se produce la transmisión de calor desde la superficie al interior de los alimentos, también se practica la descongelación de alimentos en campo eléctrico, donde el calor se genera dentro del producto por calentamiento con microondas o corriente eléctrica, o también aprovechando la resistencia eléctrica. En estos sistemas se aprovechan las propiedades dieléctricas de los alimentos congelados que absorben las radiaciones electromagnéticas y las transforman en calor, lo que trae como consecuencia un aumento de la temperatura del producto.

*Calentamiento por microondas.* Las características comunes de las microondas son: penetración a través de la capa de aire y de aquellos materiales como plástico, porcelana y vidrio, reflexión en las superficies metálicas y absorción por sustancias dieléctricas, entre las que se encuentran los alimentos. Sus principales ventajas son las siguientes:

- ✳ Calentamiento relativamente uniforme de productos homogéneos.
- ✳ Tiempos cortos de descongelación y automatización del proceso.
- ✳ Posibilidad de observar estrictas especificaciones de higiene.

El uniforme incremento de la temperatura en toda la masa del producto es una característica positiva del calentamiento por microondas en comparación con todos los demás sistemas de descongelación, en los que es peculiar la existencia de un centro térmico.

Al aplicar las microondas, todas las moléculas del producto se calientan teóricamente a la vez, sin que se produzca ninguna conducción del calor, evitando sobrecalentamientos circunscritos a la superficie (Gruda, 1986).

La uniformidad del calentamiento mediante microondas es tanto mayor cuanto más homogéneo sea el producto, cuanto mayor sea su contenido de agua, menores sus dimensiones y más regular sea su forma (Gruda, 1986).

*Descongelación dieléctrica.* En este procedimiento se produce el campo eléctrico mediante electrodos que circundan al producto, pero sin establecer contacto directo con él. Este método es menos empleado, sin embargo, que la descongelación con microondas (Gruda, 1986).

*Descongelación por resistencia.* El sistema se basa en la introducción de corriente eléctrica en el producto a descongelar, que se coloca entre electrodos. Por lo general, se calienta el producto previamente con objeto de conseguir un buen contacto y un adecuado flujo de corriente en la fase inicial del proceso (Gruda, 1986).

**1.4.2. Condiciones de calidad.** Muchos investigadores subrayan la relación existente entre las técnicas de congelación y descongelación de productos alimenticios concretos (Chassagne-Berces *et al.*, 2009; Boonsumrej *et al.*, 2006). La calidad del producto descongelado viene determinada por su estado en el momento de la congelación y por los diversos procesos que acontecen en la congelación.

La estabilidad y las propiedades de las macromoléculas de las células de los alimentos dependen de la interacción de sus grupos reactivos con la fase acuosa que los rodea, la congelación altera dichas interacciones y los cristales de hielo modifican la textura en frutas. La turgencia de los tejidos está determinada por la presión hidrostática de las células, y es la membrana la que retiene el agua y por lo tanto la que mantiene la frescura. Los componentes de las membranas son lipoproteínas formadas por enlaces débiles (puentes de hidrógeno y uniones hidrófobas) muy dependientes de la temperatura, lo que conlleva a su fácil disociación y a la liberación de agua durante la descongelación; esto ocasiona que los tejidos de los alimentos pierdan su rigidez y frescura y, en ocasiones se eliminen nutrientes, como vitaminas hidrosolubles, en el agua de descongelamiento (Badui, 2006).

En el curso de la descongelación, las membranas de las células muertas se vuelven muy permeables, de manera que el contenido vacuolar se difunde (sales, azúcares, pigmentos,

etc.). El exudado comienza a difundirse durante la descongelación, reduciendo el valor alimenticio. La cantidad exudada depende de la naturaleza del producto, de la rapidez de congelación y descongelación, y del estado fisiológico.

Es imposible desde el punto de vista teórico lograr una completa reversibilidad de los fenómenos biofísico-químicos que cursan en el producto, no obstante, se puede lograr un grado de reversibilidad en el cual resulten insignificantes las alteraciones originadas y el producto descongelado se diferencie muy poco del producto fresco. Así mismo, por lo general, no se consigue evitar durante la descongelación la condensación de humedad ambiental en la superficie del producto, inclusive se recomiendan aquellos métodos de descongelación donde se humedece la superficie; si se opta por estos procedimientos, es preciso respetar las normas higiénicas (Fellows, 1994).

# **CAPÍTULO II**

---

Metodología de la Investigación  
Experimental

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

### 2.1. Definición de objetivos

#### Objetivo general

Evaluar el efecto del proceso de congelación-descongelación sobre rodajas de kiwi, determinando la relación entre las velocidades de congelación-descongelación y los atributos de calidad de dicho fruto (porcentaje de deformación y grado de exudación).

#### Objetivos particulares

(1) Determinar el nivel de daño mecánico de rodajas de kiwi sometidas a diferentes procesos de congelación (contacto con gas frío de nitrógeno, contacto con dióxido de carbono sólido, cámara de congelación de aire forzado), variando el espesor de las rodajas, a través de la obtención del porcentaje de deformación y grado de exudación del producto al ser descongelado.

(2) Determinar la influencia de la velocidad de descongelación sobre el porcentaje de deformación y el grado de exudación de rodajas de kiwi, por medio de la aplicación de dos diferentes técnicas de descongelación (cámara de refrigeración y temperatura ambiente).

(3) Con base en el mínimo porcentaje de deformación y grado de exudación, definir las condiciones apropiadas del proceso congelación-descongelación de rodajas de kiwi.

### 2.2. Selección y justificación de variables

Debido a que la congelación criogénica ofrece algunas ventajas, como la disminución de la pérdida de textura y de peso, con respecto a otros métodos de congelación, se determinó el porcentaje de deformación y el grado de exudación de rodajas de kiwi como índices de

calidad, ya que se encuentran relacionados con la pérdida de turgencia, textura y nutrientes hidrosolubles, considerándolos así de gran importancia.

Por otro lado, se sabe que dichos índices de calidad dependen de la velocidad con que se lleve a cabo el proceso de congelación-descongelación, la cual se ve afectada, entre otros factores, por la dimensión y forma del producto (particularmente su espesor), y por los métodos de congelación y descongelación utilizados. Por esta razón, se empleó la técnica de congelación y descongelación, así como el espesor de rodajas de kiwi, como factores de variación con el fin de evidenciar las ventajas de la congelación criogénica y determinar el efecto del proceso de congelación-descongelación sobre la calidad de dicho fruto. En la tabla 5 se presentan los factores de variación empleados en la experimentación, así como las variables dependientes y de respuesta.

Tabla 5  
*Factores de variación y variables de la experimentación.*

<b>Factor de variación</b>	<b>Niveles de variación</b>	<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables de respuesta</b>
Técnica de congelación	TC <sub>1</sub> TC <sub>2</sub> TC <sub>3</sub>	Tiempo de congelación	Velocidad de congelación
Técnica de descongelación	TD <sub>1</sub> TD <sub>2</sub>	Tiempo de descongelación	Velocidad de descongelación
Espesor de rodajas de kiwi	$\chi_1$ $\chi_2$	Masa de kiwi descongelado	Grado de exudación
		Espesor de la rodaja después de aplicar un esfuerzo	Porcentaje de deformación

TC<sub>1</sub> Contacto con gas frío de nitrógeno, TC<sub>2</sub> Contacto con dióxido de carbono sólido, TC<sub>3</sub> Cámara de congelación; TD<sub>1</sub> Cámara de refrigeración, TD<sub>2</sub> Temperatura ambiente;  $\chi_1=0.8$  cm,  $\chi_2=1.2$  cm.

### 2.3. Diseño experimental

Los eventos experimentales se efectuaron con base en un diseño factorial general completo de tres factores, empleando tres niveles de variación para el primer factor (técnica de congelación) y dos niveles para el segundo y tercer factor (técnica de descongelación y espesor de rodaja), tal como se indica en la tabla anterior.

Cada uno de los eventos experimentales se llevó a cabo por duplicado, de tal forma que se efectuaron 24 eventos. En la tabla 6 se muestra la combinación de variables para cada uno de estos.

Tabla 6  
Combinación de los factores de variación basada en un diseño factorial general completo.

Evento	Bloque	Técnica de congelación	Técnica de descongelación	Espesor de rodajas de kiwi
1	1	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Temperatura ambiente	0.8 cm
2	1	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Temperatura ambiente	1.2 cm
3	1	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Cámara de refrigeración	0.8 cm
4	1	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Cámara de refrigeración	1.2 cm
5	1	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Temperatura ambiente	0.8 cm
6	1	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Temperatura ambiente	1.2 cm
7	1	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Cámara de refrigeración	0.8 cm
8	1	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Cámara de refrigeración	1.2 cm
9	1	Cámara de congelación	Temperatura ambiente	0.8 cm
10	1	Cámara de congelación	Temperatura ambiente	1.2 cm
11	1	Cámara de congelación	Cámara de refrigeración	0.8 cm
12	1	Cámara de congelación	Cámara de refrigeración	1.2 cm
13	2	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Temperatura ambiente	0.8 cm
14	2	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Temperatura ambiente	1.2 cm
15	2	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Cámara de refrigeración	0.8 cm
16	2	Contacto con gas frío de N <sub>2</sub>	Cámara de refrigeración	1.2 cm
17	2	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Temperatura ambiente	0.8 cm
18	2	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Temperatura ambiente	1.2 cm
19	2	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Cámara de refrigeración	0.8 cm
20	2	Contacto con CO <sub>2</sub> sólido	Cámara de refrigeración	1.2 cm
21	2	Cámara de congelación	Temperatura ambiente	0.8 cm
22	2	Cámara de congelación	Temperatura ambiente	1.2 cm
23	2	Cámara de congelación	Cámara de refrigeración	0.8 cm
24	2	Cámara de congelación	Cámara de refrigeración	1.2 cm

## 2.4. Características y control de la materia prima

**2.4.1. Material biológico.** Kiwis (*Actinidia deliciosa*) de la variedad Hayward importados de Nueva Zelanda fueron adquiridos en la Central de Abasto de Tultitlán, en grado de madurez sensorial, y transportados en cajas de cartón por vía terrestre a la Nave 2000 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Los kiwis fueron seleccionados con base en su tamaño, apariencia (ausencia de grietas de crecimiento, daños por insectos, magulladuras y pudriciones) y firmeza al tacto.

**2.4.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima.** Una vez recibidos los kiwis en la Nave 2000 se llevó a cabo una segunda selección, para la cual se midió el diámetro polar con un vernier digital de manera longitudinal de la base del pedúnculo al ápice y el diámetro ecuatorial en su sección mayor para contar con frutos homogéneos, además se pesó cada uno de ellos empleando una balanza digital.

Los frutos aceptados fueron aquellos que se encontraron ausentes de cualquier tipo de daño físico, con diámetro polar y ecuatorial de  $7 \pm 1$  y  $5 \pm 1$  cm respectivamente, y con un peso entre 100 y 125 g.

Una vez seleccionados, los kiwis fueron lavados con agua potable y se les retiró la cáscara con un pelador. Posteriormente fueron cortados en rodajas de 0.8 y 1.2 cm de espesor, de acuerdo a cada evento experimental.

## 2.5. Materiales y métodos

**2.5.1. Actividad preliminar 1: Determinación de tiempos y velocidades de congelación.** Para la determinación del tiempo de congelación se colocó un termopar tipo T en el centro geométrico de una rodaja de kiwi, considerando dicho punto como el centro térmico de la rodaja, con el fin de obtener el perfil térmico partiendo de temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ , ya que se considera que a dicha temperatura se encuentra prácticamente paralizada toda actividad microbiana.

La figura 3 representa la posición del termopar en la rodaja de kiwi, como se muestra, el termopar fue colocado en el centro geométrico, introduciéndolo de tal forma que quedara perpendicular al diámetro mayor de la rodaja.

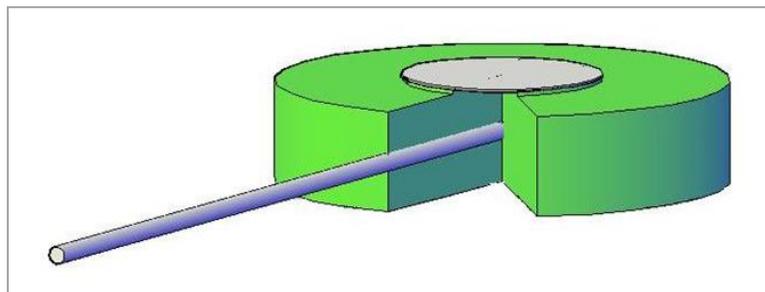


Figura 3. Posición del termopar en las rodajas de kiwi.

Una vez insertado el termopar en la rodaja de kiwi, se procedió a su congelación hasta alcanzar la temperatura deseada (-18°C). Dicha actividad se llevó a cabo para cada una de las técnicas de congelación y para cada espesor de rodaja.

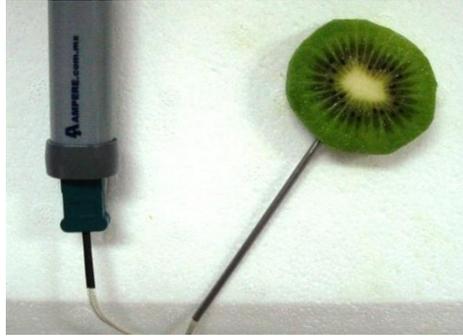


Figura 4. Termopar introducido en el centro térmico de una rodaja de kiwi.

Los tiempos de congelación se obtuvieron desde el PIC del kiwi (-1.5°C) hasta -18°C, con los cuales fueron calculadas las velocidades de congelación de la siguiente forma:

$$v_{\text{congelación}} = \frac{PIC - T_f}{t_c}$$

Donde:

$PIC$ = punto inicial de congelación de las rodajas de kiwi

$T_f$ = temperatura final de las rodajas

$t_c$ = tiempo de congelación entre las temperaturas indicadas

**2.5.2. Actividad preliminar 2: Determinación de tiempos y velocidades de descongelación.** El tiempo de descongelación al igual que el tiempo de congelación, fue determinado para cada evento experimental.

Una vez finalizado el proceso de congelación, las rodajas de kiwis fueron introducidas en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre de 18 x 20 cm, sin retirar el termopar anteriormente introducido, obteniendo así el historial térmico del proceso de descongelación desde -18°C hasta que la temperatura en el centro térmico de la rodaja fuera de 2°C.



*Figura 5.* Termopar introducido en una rodaja de kiwi sometida a descongelación en una bolsa de polietileno.

Los tiempos de descongelación fueron obtenidos desde la temperatura a la cual fueron congeladas las rodajas de kiwi ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) hasta  $-1.5^{\circ}\text{C}$ , obteniendo las velocidades de descongelación de igual forma que las velocidades de congelación.

**2.5.3. Congelación de rodajas de kiwi.** Se congelaron cinco rodajas de kiwi en cada evento experimental empleando la técnica correspondiente a cada uno de estos, de acuerdo a la metodología que a continuación se describe.

**a) Congelación de rodajas de kiwi por contacto con gas frío de nitrógeno**

Para la congelación de las rodajas de kiwi con nitrógeno gaseoso, se utilizó una cámara de congelación conectada a un tanque presurizado con nitrógeno líquido (imagen (b) de la figura 6). El equipo consta de un recinto de acero inoxidable (imagen (a) de la figura 6) con dos aspersores en su interior (imagen (c) de la figura 6), cinco niveles para colocar rejillas con producto, un escape de gas en la parte superior, un sensor de temperatura en la parte interna de la cámara y un tablero de control (imagen (d) de la figura 6) que cuenta con los siguientes componentes:

- \* Una perilla de apagado-encendido.
- \* Un indicador de encendido.
- \* Un botón de arranque.
- \* Un *display* que permite visualizar la temperatura interna de la cámara y la temperatura de programación.

- ✱ Un temporizador que es accionado manualmente y que sirve para seleccionar el tiempo del proceso.



Figura 6. Componentes del equipo de congelación criogénica utilizado en la experimentación.

El funcionamiento del equipo se encuentra controlado por una válvula solenoide, un transductor I-P y una válvula de diafragma (imagen (b) de la figura 6).

La válvula solenoide es un dispositivo operado eléctricamente por el temporizador del equipo que permite o interrumpe el flujo de nitrógeno gaseoso, ya sea que se encuentre completamente abierta o cerrada. De esta forma, al iniciar el proceso, el temporizador manda una señal eléctrica al solenoide de la válvula creándose un campo magnético que actúa como la fuerza motriz para abrir la válvula; cuando el tiempo de congelación finaliza, el temporizador manda una señal eléctrica para cerrar el circuito eléctrico, provocando el cierre de la válvula debido a la desenergización del solenoide.

Por su parte, el transductor I-P es un regulador de presión electrónico que convierte una señal de corriente de entrada a una presión de salida neumática en forma proporcional. Las señales de entrada son de 4-20 mA y las presiones de salida se encuentran en el rango de 5 a

15 psi. Dicho transductor recibe la señal del sensor de temperatura y manda la señal convertida en presión, mandando sólo la cantidad necesaria de nitrógeno gaseoso para abrir la válvula de diafragma. De esta forma, la válvula de diafragma regula el caudal del nitrógeno líquido de forma automática, con objeto de mantener constante la temperatura a la cual se programa el equipo. Dicha válvula cierra o abre, parcial a totalmente, dependiendo del diferencial de temperatura entre la temperatura interna del equipo y la de programación.



*Figura 7.* Congelación de rodajas de kiwi en un gabinete de congelación criogénica por contacto con gas frío de nitrógeno.

En seguida se describe la metodología utilizada para la operación del equipo:

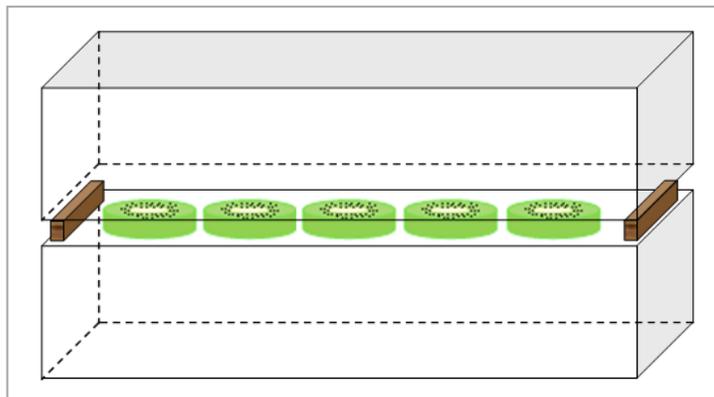
- (1) Se conectó el equipo a la corriente eléctrica y se encendió el equipo.
- (2) Se abrió la válvula de líquido del tanque presurizado y posteriormente se abrió la válvula de venteo.
- (3) Se presionó el botón de arranque para iniciar el atemperado de la cámara.

- (4) Después de 4 minutos (tiempo necesario para alcanzar una temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$  en el interior de la cámara) se apagó el equipo y se introdujo el producto en una rejilla metálica, la cual fue colocada en el segundo nivel.
- (5) Una vez introducido el producto, se volvió a presionar el botón de arranque.
- (6) Transcurridos 4 minutos, tiempo al cual se alcanzó una temperatura de  $-130^{\circ}\text{C}$ , se apagó el equipo y se retiró el producto de la cámara.
- (7) Finalmente se cerró la válvula de líquido y posteriormente la válvula de venteo del tanque de nitrógeno.

#### **b) Congelación de rodajas de kiwi por contacto con dióxido de carbono sólido**

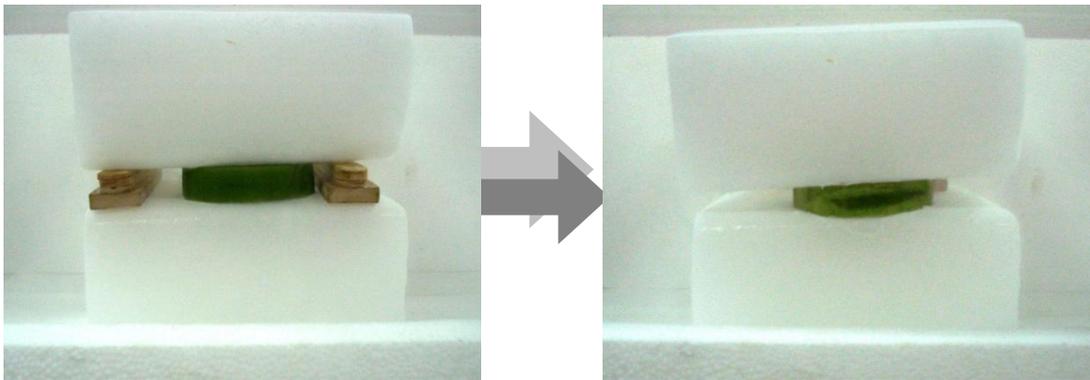
La congelación de rodajas de kiwi con dióxido de carbono sólido (a una temperatura de  $-78^{\circ}\text{C}$ ) se llevó a cabo utilizando dos bloques de 25 cm de largo por 15 cm de ancho con 10 cm de espesor. El peso de cada uno de estos fue de 3 kg aproximadamente. A continuación se describe la metodología seguida:

- (1) Sobre una base poliestireno expandido se colocó uno de los bloques de  $\text{CO}_2$  sólido.
- (2) Se colocaron dos soportes de madera, de espesor igual al de las rodajas de kiwi (0.8 ó 1.2 cm), en los extremos laterales del bloque.
- (3) Se situaron cinco rodajas de kiwi a lo largo de dicho bloque y posteriormente se colocó el segundo bloque sobre los soportes (ver figura 8), con la finalidad de que ambas caras de las rodajas de kiwi estuvieran en contacto con el  $\text{CO}_2$  sólido sin causar algún daño sobre ellas.



*Figura 8.* Acomodo de bloques de  $\text{CO}_2$  sólido para la congelación de rodajas de kiwi.

- (4) Una vez que el centro térmico alcanzó una temperatura de  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (PIC) se retiraron los soportes, ya que a dicha temperatura la superficie de las rodajas se encuentra congelada en su totalidad y es capaz de soportar el bloque sin deformarse, con la finalidad de que las rodajas siguieran en contacto con el bloque superior, puesto que el  $\text{CO}_2$  adquiere la forma del producto al sublimar, creándose una cavidad que impide el contacto directo entre ellos.
- (5) Una vez alcanzada una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  en el centro térmico se retiró el bloque superior y posteriormente las rodajas de kiwi, finalizando así el proceso de congelación.



*Figura 9.* Metodología para la congelación de rodajas de kiwi con  $\text{CO}_2$  sólido.

### **c) Congelación de rodajas de kiwi en cámara de congelación**

Para esta técnica, se utilizó la cámara de congelación ubicada en la Nave 2000 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. La metodología empleada fue la siguiente:

- (1) Primeramente se acondicionó la cámara a una temperatura de  $-25^{\circ}\text{C}$ .
- (2) Una vez alcanzada la temperatura deseada en el interior de la cámara (la cual fue verificada con el termómetro digital que se encuentra en la parte exterior de la misma) se introdujeron las rodajas de kiwi, colocándolas en el cuadrante 4D que se muestra en la figura 10, donde se tiene una velocidad del aire de  $0\text{ m/s}$ .
- (3) Transcurrido el tiempo necesario para que el centro térmico alcanzara una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ , las rodajas fueron retiradas de la cámara de congelación.

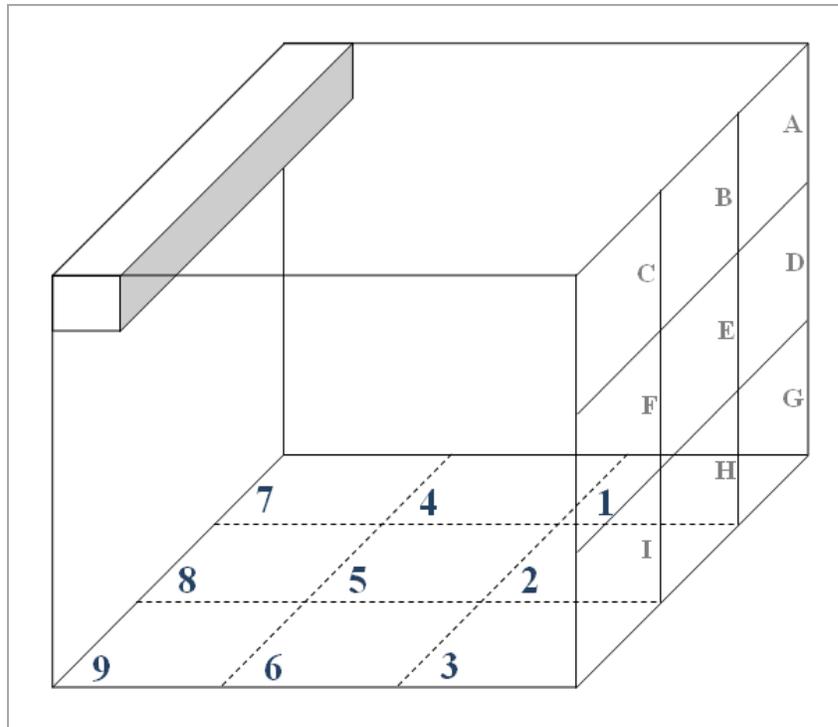


Figura 10. Cuadrantes de la cámara de congelación.

**2.5.4. Descongelación de rodajas de kiwi.** Una vez congeladas las rodajas de kiwi, se procedió a su descongelación mediante la técnica correspondiente a cada evento experimental, para lo cual se colocaron sobre un papel filtro de 8 x 7 cm y se introdujeron en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre de 18 x 20 cm.

En seguida se describe la metodología de las técnicas de descongelación empleadas en la experimentación.

**a) Descongelación de rodajas de kiwi en cámara de refrigeración**

La descongelación de rodajas de kiwi mediante esta técnica se llevó a cabo en la cámara de refrigeración 2 ubicada en la Nave 2000 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, la cual se encontraba a una temperatura de  $4.5 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Para esto, las bolsas con rodajas de kiwi fueron dispuestas en una mesa al nivel del cuadrante 4D, de acuerdo a la figura 10, donde una vez transcurrido el tiempo de descongelación fueron retiradas para su posterior evaluación.

**b) Descongelación de rodajas de kiwi a temperatura ambiente**

Para la descongelación de rodajas de kiwi a temperatura ambiente, las muestras fueron colocadas sobre una mesa dentro de la Nave 2000, de la cual fueron removidas al finalizar el tiempo de descongelación. La temperatura en esta técnica osciló entre  $19 \pm 1^\circ\text{C}$ .

**2.5.5. Determinación del grado de exudación.** El grado de exudación de las rodajas de kiwi después de haber sido sometidas al proceso de congelación-descongelación fue calculado de la siguiente forma.

$$\%exudación = \left( \frac{m_{kc} - m_{kd}}{m_{kc}} \right) * 100$$

Donde

$m_{kc}$  = masa de kiwi congelado (g)

$m_{kd}$  = masa de kiwi descongelado (g)

Comprobando los porcentajes de exudación resultantes de la siguiente forma:

$$\%exudación = \left( \frac{m_e}{m_{kc}} \right) * 100$$

Los valores de  $m_e$  (masa del exudado) fueron obtenidos a partir del cálculo siguiente:

$$m_e = m_{pf} - m_{pi} - m_{ac}$$

$$m_{ac} = m_{kd} + m_{pf} - m_{pi} - m_{kc}$$

Donde

$m_{pi}$  = masa inicial del papel filtro (g)

$m_{pf}$  = masa final del papel filtro (g)

$m_{ac}$  = masa del agua de condensación (g)

La metodología empleada se muestra en la figura 11.

a) Medición de masa de rodaja de kiwi congelada



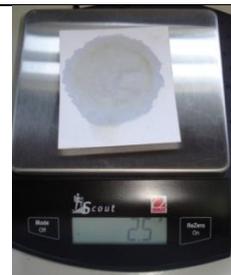
b) Medición de masa inicial de papel filtro



c) Medición de masa de rodaja de kiwi descongelada



d) Medición de masa final de papel filtro (con exudado)



*Figura 11.* Metodología para la obtención del porcentaje de exudación.

**2.5.6. Determinación del porcentaje de deformación.** El porcentaje de deformación de las rodajas de kiwi fue determinado primeramente en el fruto fresco con la finalidad de contar con un nivel de comparación. En los eventos experimentales fue evaluado en las rodajas de kiwi después de ser descongeladas y pesadas.

Para su obtención, se midió el espesor de las rodajas con un vernier digital y posteriormente se les aplicó una fuerza, colocando una pesa de 1 kg sobre cada una de estas durante 10 segundos, tal como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Determinación del porcentaje de deformación de las rodajas de kiwi.

Una vez retirado el esfuerzo y después de 15 segundos, se midió el espesor de las rodajas, comparando la longitud inicial con la final para el cálculo del porcentaje de deformación, de tal modo que:

$$\%deformación = \left( \frac{l_i - l_f}{l_i} \right) * 100$$

Donde

$l_i$ = longitud inicial de la rodaja de kiwi

$l_f$ =longitud final de la rodaja de kiwi después de aplicarle una fuerza

A los valores, tanto de grado de exudación como porcentaje de deformación, correspondientes a las cinco réplicas de cada uno de los eventos experimentales, se les determinó la media, desviación estándar y coeficiente de variación (Ver tablas 9 y 10).

Las medias de dichos índices de calidad fueron analizadas utilizando el software MINITAB 14, de acuerdo al diseño estadístico realizado.

# **CAPÍTULO III**

---

Análisis de Resultados

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con respecto a los tiempos de congelación y descongelación se muestran las curvas correspondientes a cada técnica y espesor, elaboradas a partir de los historiales térmicos obtenidos en el centro térmico de las rodajas de kiwi. Así mismo, se presentan las velocidades de congelación y descongelación resultantes, y el análisis de dichos valores basado en gráficos estadísticos obtenidos mediante el software MINITAB 14.

Por otra parte, se presenta la discusión de los resultados concernientes al porcentaje de deformación y grado de exudación de las rodajas de kiwi después de haber sido sometidas a un proceso de congelación-descongelación, para lo cual se muestran gráficos comparativos y estadísticos como sustento del análisis de la influencia de cada uno de los factores propuestos sobre las variables de respuesta.

### 3.1. Tiempos y velocidades de congelación

Los tiempos de congelación obtenidos para cada combinación espesor-técnica de congelación se muestran en la tabla 7. Así mismo, se presenta la velocidad de congelación obtenida a partir de dichos tiempos, tal como se mencionó en el capítulo anterior.

Con base en los valores publicados por Camacho (2005), quien reporta que las velocidades correspondientes a una congelación lenta se encuentran entre 2 y 20 °F/h, y entre 1 y 100 °F/min si se trata de congelación rápida, se obtuvo que las velocidades en la cámara de congelación se encuentran dentro del rango de congelación lenta, mientras que las obtenidas en las técnicas de contacto con CO<sub>2</sub> sólido y gas frío de N<sub>2</sub> corresponden a una congelación rápida.

De acuerdo a los datos de la tabla 7 y a la figura 13, las curvas de congelación correspondientes a las técnicas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> exhiben un comportamiento similar de la temperatura con respecto al tiempo, que al compararlas con las curvas derivadas de la

congelación en cámara, la etapa de congelación propiamente dicha no es apreciable, puesto que los tiempos de congelación obtenidos en esta técnica fueron mucho mayores que los obtenidos mediante las técnicas criogénicas.

Tabla 7

*Tiempos y velocidades de congelación de cada uno de los espesores de rodajas de kiwi y métodos de congelación utilizados.*

Método	Espesor (cm)	Tiempo de congelación* (min)	Velocidad de congelación (°F/min)	Velocidad de congelación (°F/h)
CC	0.8	96.733	0.307	18.421
CC	1.2	128.666	0.230	13.849
N <sub>2</sub>	0.8	1.333	22.280	1336.834
N <sub>2</sub>	1.2	3.900	7.615	456.923
CO <sub>2</sub>	0.8	1.133	26.213	1572.815
CO <sub>2</sub>	1.2	1.233	24.087	1445.255

CC: Cámara de congelación

\* Tiempo de congelación desde el PIC (-1.5°C) hasta la temperatura deseada (-18°C).

En el caso de la congelación de rodajas de kiwi en cámara de congelación y por contacto con gas frío de nitrógeno, donde en ambas técnicas interviene el mecanismo de transmisión de calor por convección, desde el medio de congelación hasta la superficie del producto, destaca la diferencia entre los tiempos de congelación obtenidos en cada técnica, confirmando que un factor importante a considerar en el proceso de congelación es la diferencia de temperatura entre el medio congelación y el PIC del producto. De igual forma, el coeficiente de convección, que depende directamente del sistema de congelación y de las condiciones del proceso, ejerce gran influencia sobre el tiempo de congelación. La literatura reporta un coeficiente de convección para la congelación en cámara sin aire en movimiento de  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mientras que para la congelación por nitrógeno gaseoso, el valor del coeficiente de convección se encuentra entre  $1200$  y  $2400 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Casp, 2003).

Lo anterior se refleja en la figura 13, en la que se muestran las curvas de congelación. En estas se aprecia una notable diferencia entre una técnica y otra, donde el tiempo que corresponde a la técnica de congelación en cámara es 72.5 y 33 veces mayor para un espesor de rodaja de 0.8 y 1.2 cm respectivamente, con respecto a los tiempos obtenidos mediante la congelación con gas frío de nitrógeno.



Figura 13. Curvas comparativas de congelación de rodajas de kiwi.

Con base en los valores de los tiempos de congelación correspondientes a cada técnica y espesor de rodaja presentes en la tabla 7, y en el comportamiento de las curvas de congelación que se muestran en las figuras 14, 15 y 16, el tiempo de congelación está influenciado por el espesor de las rodajas, ya que para una misma técnica de congelación se obtuvieron valores de tiempos de congelación más altos con el espesor de 1.2 cm comparados con los de 0.8 cm, siendo mayor la diferencia en el caso de la congelación con gas frío de nitrógeno, donde el tiempo de congelación para el espesor de 1.2 cm (3.9 min) es 192.573% mayor que el tiempo correspondiente al espesor de 0.8 cm (1.333 min), mientras que en el caso de la congelación por frío mecánico en cámara de congelación y por contacto con dióxido de carbono sólido, el incremento fue de 33.005 y 8.826% respectivamente.

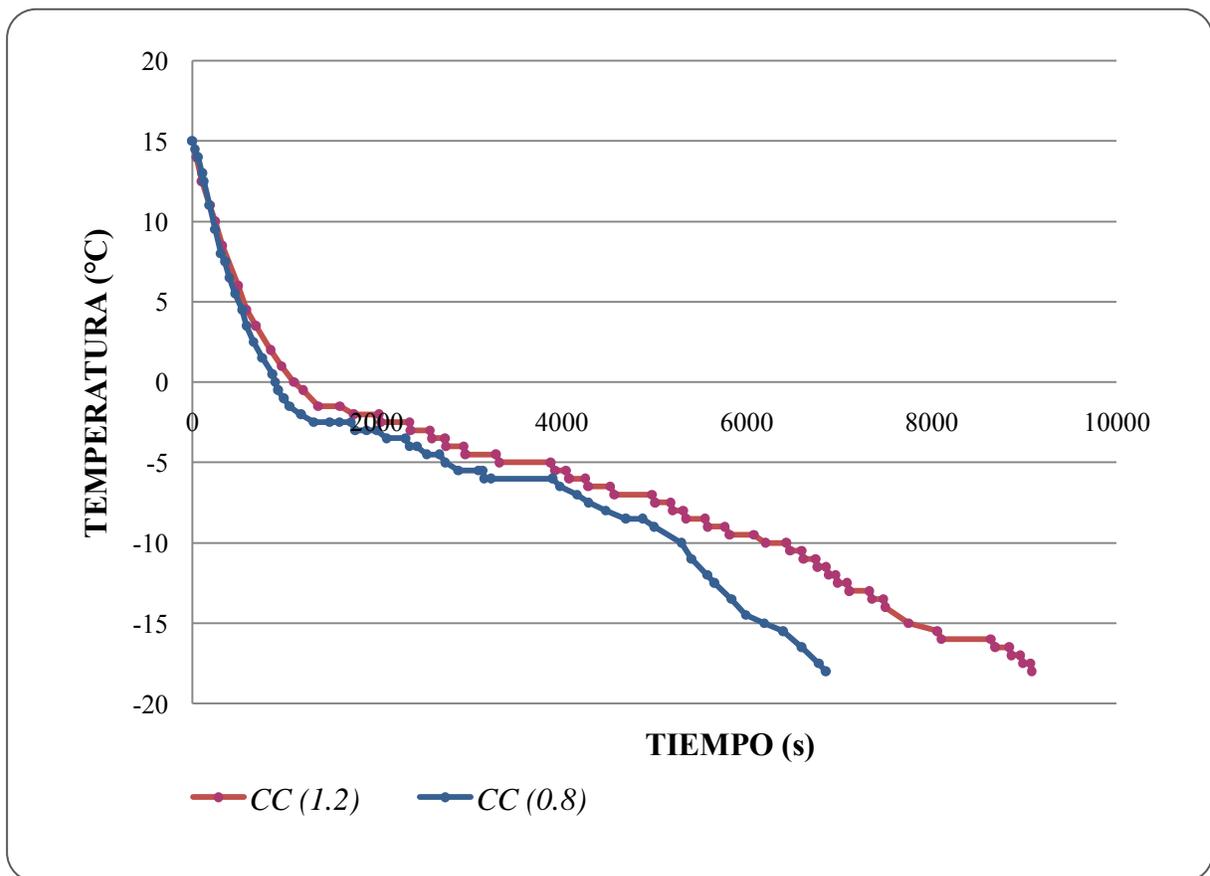


Figura 14. Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2cm de espesor congeladas en cámara de congelación.

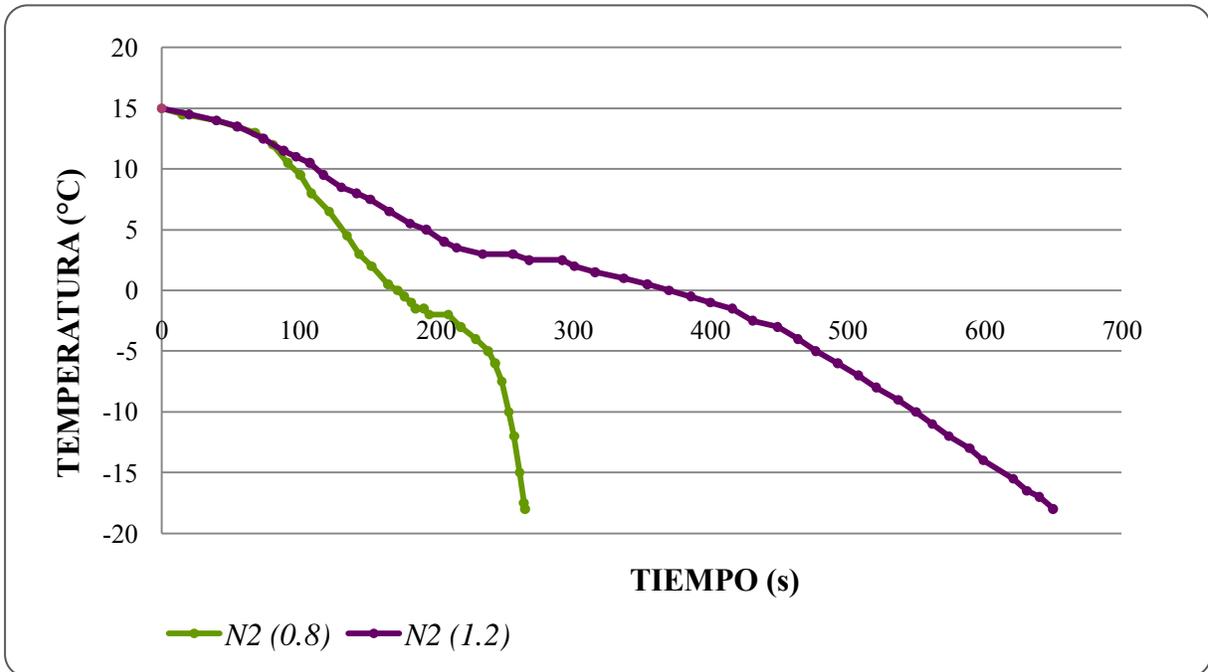


Figura 15. Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas mediante contacto con gas frío de nitrógeno.

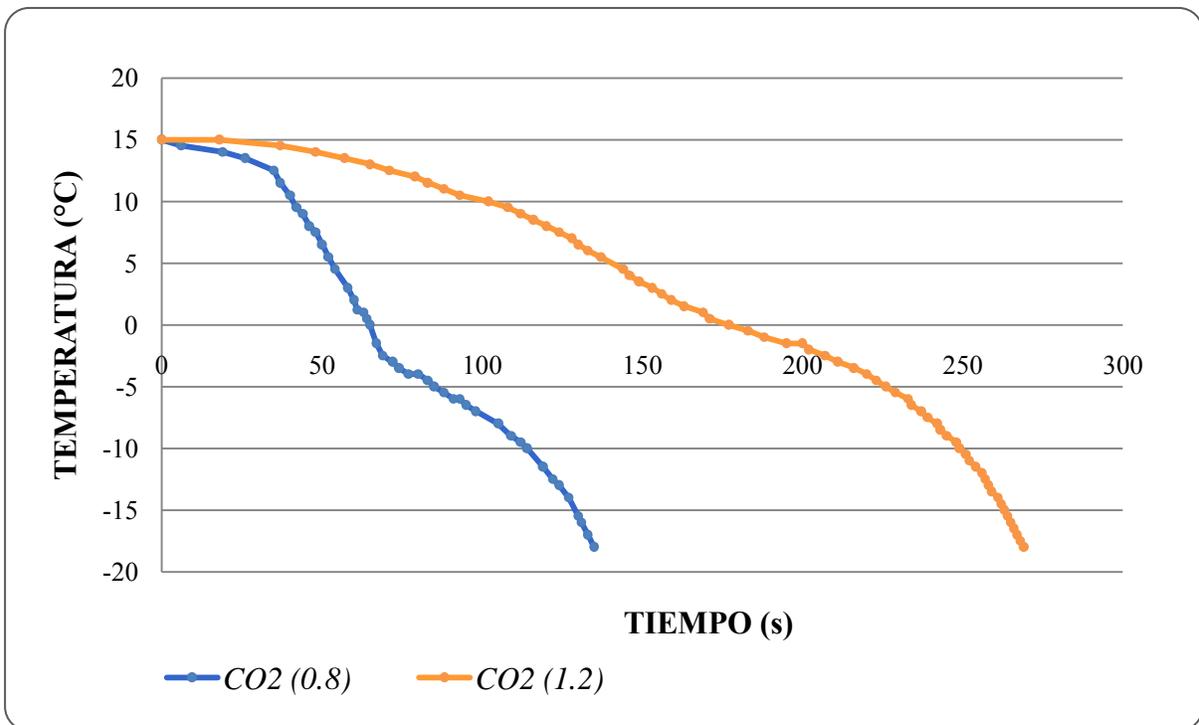


Figura 16. Curvas de congelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con dióxido de carbono sólido.

Las velocidades de congelación resultantes en cada una de las técnicas fueron sometidas a un tratamiento estadístico obteniendo los gráficos que se muestran en las figuras 17 y 18.

En la figura 17 se puede apreciar que existe diferencia entre el empleo de un espesor de rodaja de 0.8 cm y uno de 1.2 cm, y entre las técnicas de congelación empleadas, en cuanto a los valores de velocidad de congelación obtenidos. La media de la velocidad de congelación obtenida con el espesor de rodaja de 0.8 cm fue 52.81% mayor que la correspondiente al espesor de 1.2 cm. Con respecto a las técnicas de congelación, la media de la velocidad de congelación resultante con la técnica de contacto con CO<sub>2</sub> sólido es 68.25 y 9252.55% mayor que las obtenidas por contacto con gas frío de N<sub>2</sub> y cámara de congelación, respectivamente. De este modo, el factor con mayor influencia sobre la velocidad de congelación fue la técnica empleada para congelar las rodajas de kiwi, observando claramente la diferencia entre los valores obtenidos en la cámara de congelación y los obtenidos con las técnicas criogénicas, siendo así, el espesor de rodaja un factor con menor influencia en la velocidad de congelación.

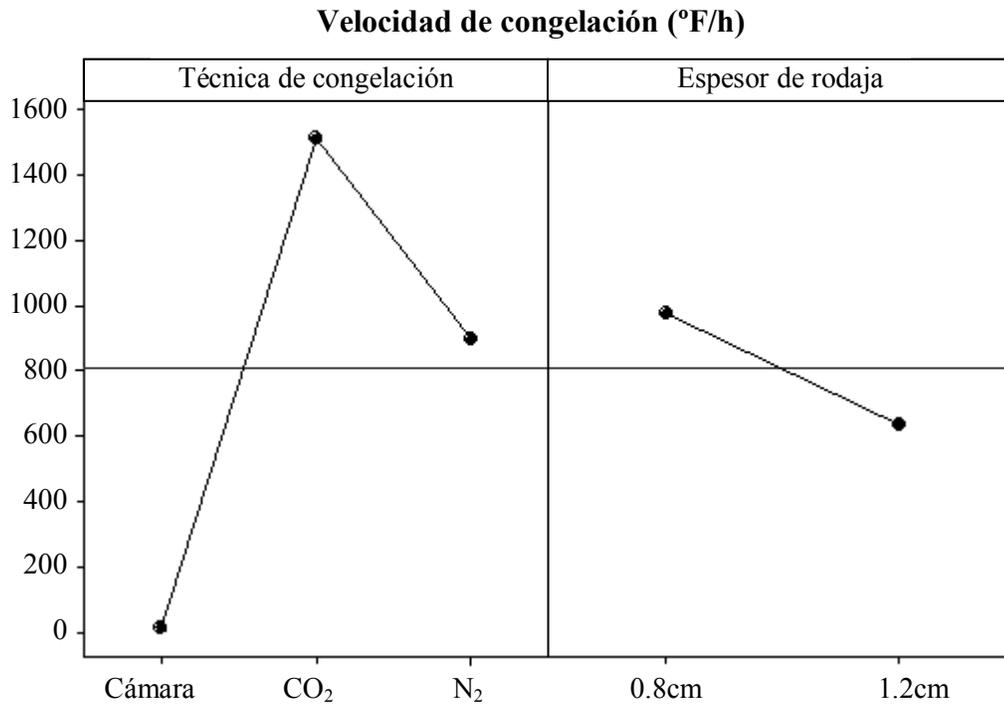


Figura 17. Gráfico estadístico de comparación de medias de velocidad de congelación.

Con base en el gráfico estadístico de la figura 18, el espesor de las rodajas de kiwi influye notablemente en la velocidad de congelación cuando se emplea la técnica de contacto con gas frío de nitrógeno, en cambio, las velocidades obtenidas mediante la congelación con dióxido de carbono sólido casi no difieren entre un espesor y otro; y en el caso de la congelación en cámara los valores de velocidad correspondientes al espesor de 0.8 y 1.2 cm son muy parecidos.

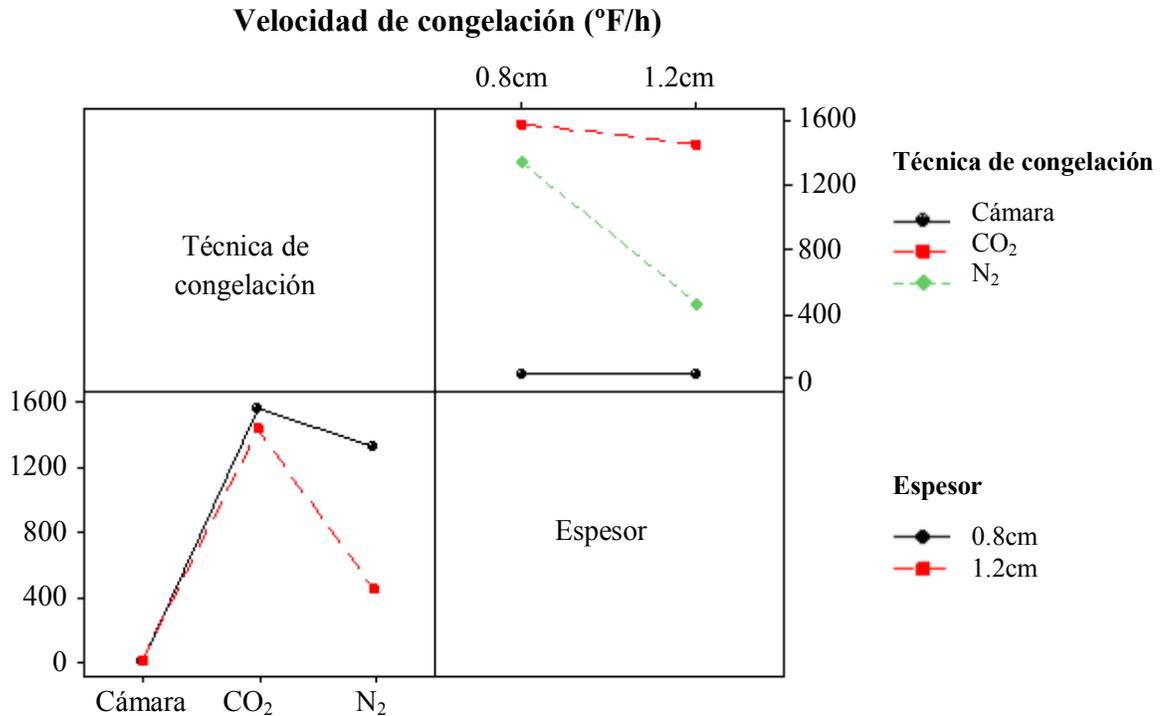


Figura 18. Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja y la técnica de congelación en la velocidad de congelación.

### 3.2. Tiempos y velocidades de descongelación

En la tabla 8 se presentan los tiempos de descongelación de las rodajas de kiwi para cada uno de los eventos experimentales, así como las velocidades de descongelación obtenidas a partir de estos. Al igual que en la congelación, las velocidades de descongelación se vieron influenciadas por el espesor de las rodajas, de tal modo que aquellas cuyo espesor fue de 1.2 cm tardaron más tiempo en descongelarse, presentando así una menor velocidad de descongelación en contraste con las velocidades obtenidas con 0.8 cm de espesor de rodaja.

Tabla 8

*Tiempos y velocidades de descongelación de rodajas de kiwi correspondientes a cada una de las combinaciones de métodos de congelación-descongelación.*

Método de congelación	Método de descongelación	Espesor (cm)	Tiempo de descongelación* (min)	Velocidad de descongelación (°F/min)	Velocidad de descongelación (°F/h)
CC	TA	0.8	58.400	0.508	30.513
CC	TA	1.2	110.933	0.267	16.063
CC	RE	0.8	123.700	0.240	14.405
CC	RE	1.2	158.266	0.187	11.259
N <sub>2</sub>	TA	0.8	39.166	0.758	45.498
N <sub>2</sub>	TA	1.2	58.400	0.518	31.083
N <sub>2</sub>	RE	0.8	121.816	0.243	14.628
N <sub>2</sub>	RE	1.2	125.183	0.237	14.235
CO <sub>2</sub>	TA	0.8	26.366	1.126	67.587
CO <sub>2</sub>	TA	1.2	57.330	0.508	30.513
CO <sub>2</sub>	RE	0.8	113.900	0.260	15.645
CO <sub>2</sub>	RE	1.2	124.380	0.238	14.327

CC: Cámara de congelación, TA: Temperatura ambiente, RE: Cámara de refrigeración

\* Tiempo de descongelación desde -18°C hasta el PIC (-1.5°C)

A continuación se presentan las curvas de descongelación concernientes a cada técnica y espesor de rodaja. En la figura 19 se muestran las curvas que corresponden al proceso de descongelación de rodajas de kiwi después de haber sido congeladas en cámara de congelación, mientras que las figuras 20 y 21 corresponden a las curvas de descongelación obtenidas después de haber congelado el kiwi mediante las técnicas de nitrógeno y dióxido de carbono respectivamente.

En dichas figuras se aprecia la diferencia en cuanto a los tiempos de descongelación obtenidos con un espesor y otro, existiendo una relación directa entre estos, de tal modo que al incrementar el espesor de la rodaja, el tiempo de descongelación aumenta. Así mismo, se distingue la diferencia entre el comportamiento de la temperatura en función del tiempo obtenido en la descongelación a temperatura ambiente y en cámara de refrigeración, obteniendo mayores tiempos de descongelación con la técnica de refrigeración en cámara, debido a que el gradiente de temperatura entre el medio y el producto es menor que el existente cuando se descongelan las rodajas de kiwi a temperatura ambiente, donde el flujo de calor es más rápido debido a la mayor diferencia de temperatura entre el aire y la superficie del producto, existiendo así, una mayor fuerza impulsora para la transferencia de energía en forma de calor.

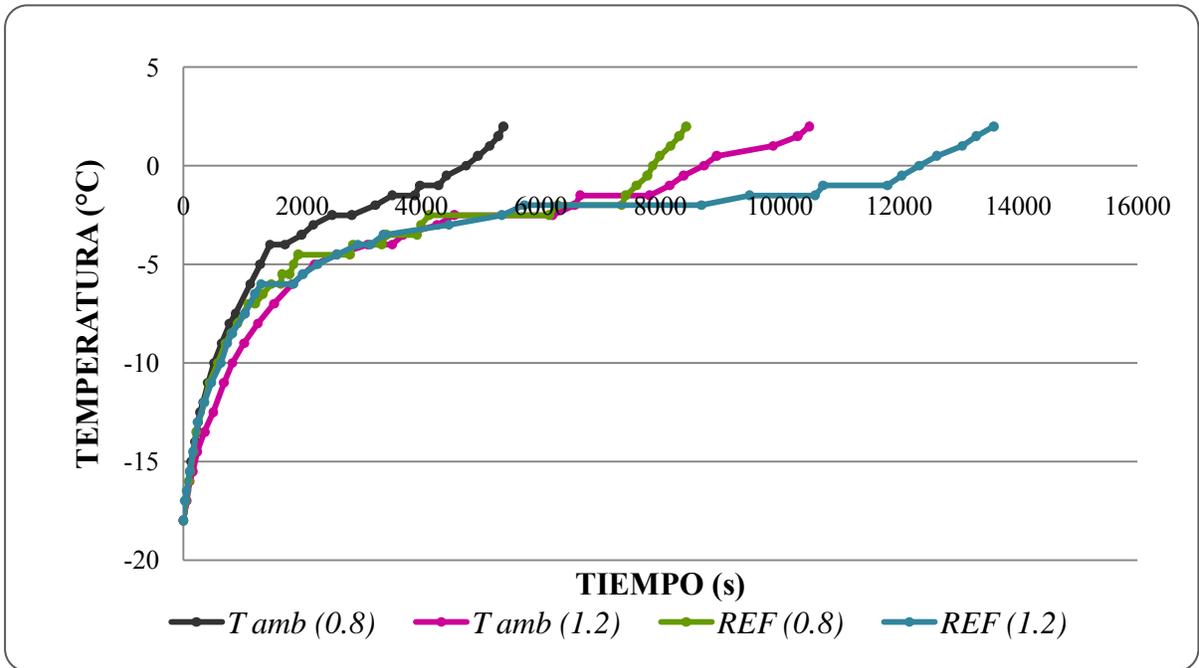


Figura 19. Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas en cámara de congelación.

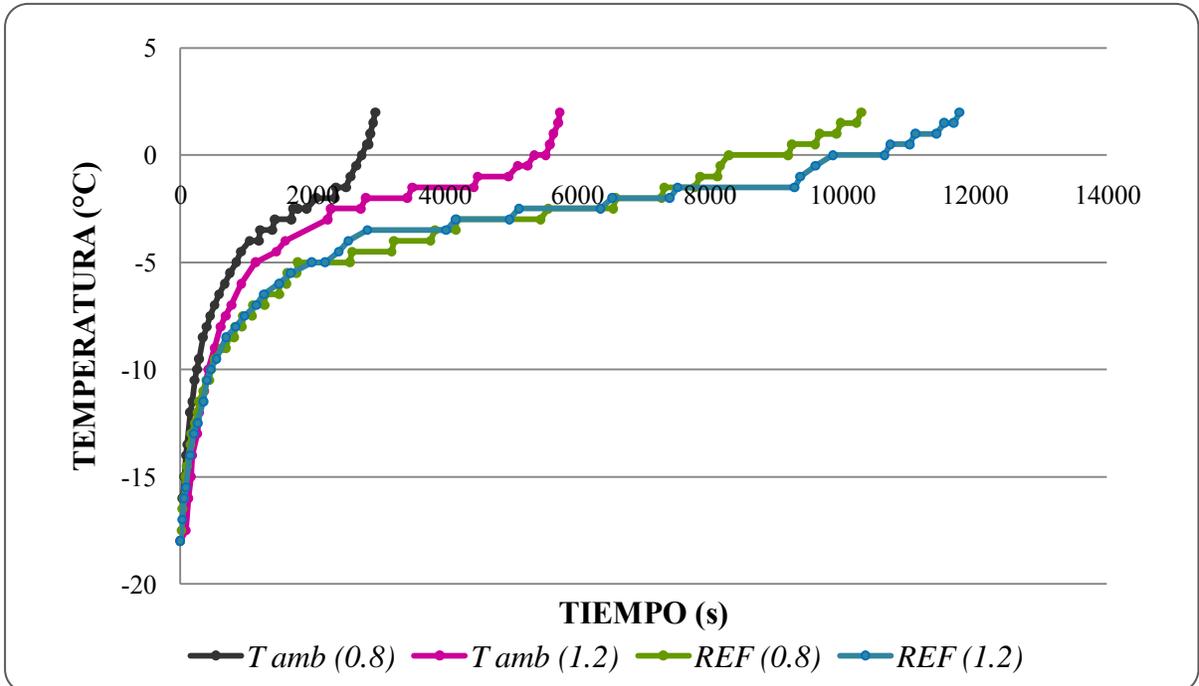


Figura 20. Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas mediante contacto con gas frío de nitrógeno.

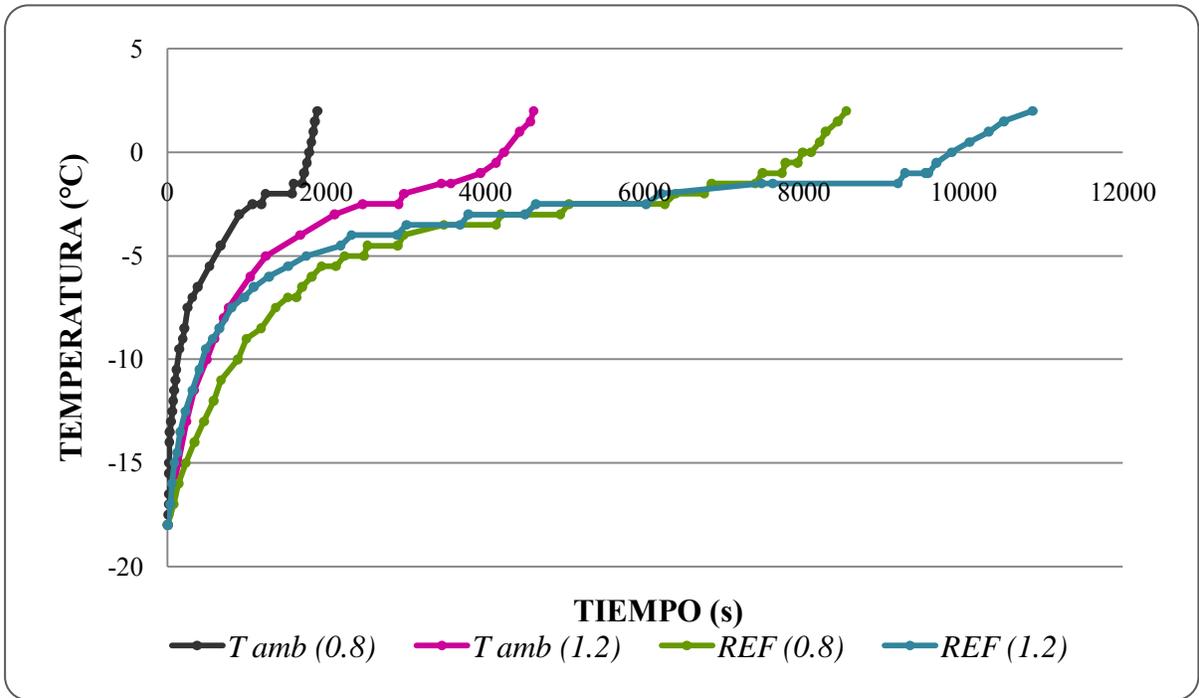


Figura 21. Curvas de descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con dióxido de carbono sólido.

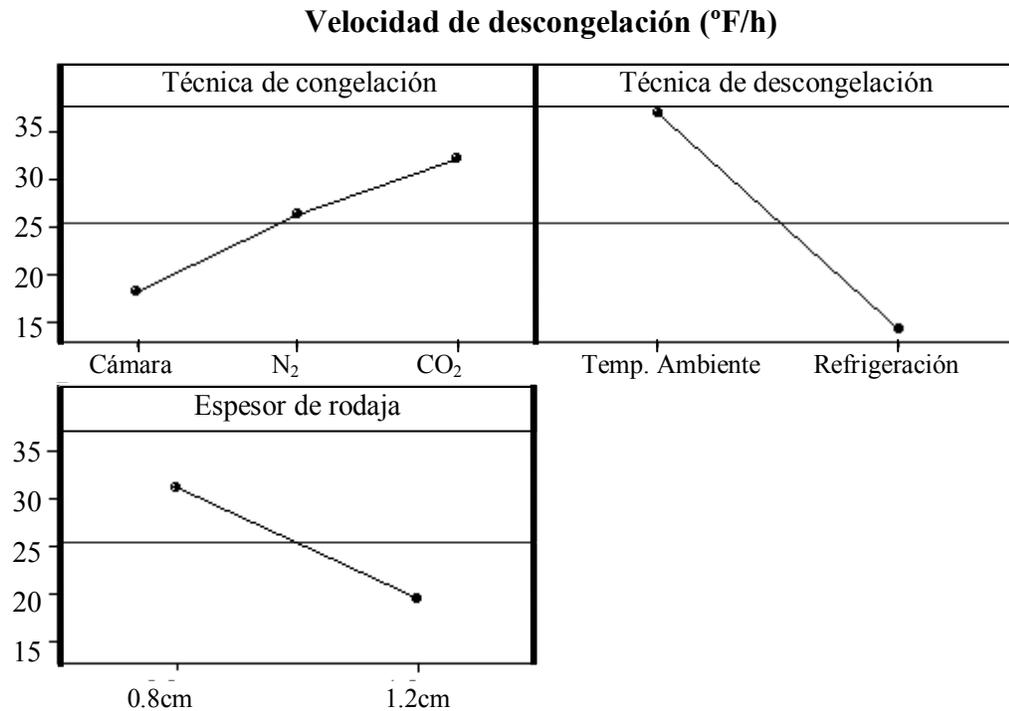


Figura 22. Gráfico estadístico de comparación de medias de velocidad de descongelación.

Las figuras 22 y 23, corresponden a los gráficos obtenidos a través del análisis de las velocidades de descongelación mediante el software estadístico Minitab 14.

De acuerdo al gráfico de comparación de medias de velocidad de descongelación de la figura 22, la técnica de descongelación fue el factor de mayor contribución, pues se distingue claramente la diferencia entre los valores obtenidos con una técnica y otra, siendo la media de la velocidad de descongelación correspondiente a la técnica de temperatura ambiente 161.8% mayor que la obtenida mediante refrigeración. No obstante, la técnica de congelación y el espesor de rodaja también influyeron en la velocidad de descongelación, aunque en menor proporción. Las velocidades de descongelación obtenidas con las rodajas de kiwi congeladas mediante las técnicas criogénicas fueron mayores comparadas con la velocidad obtenida en la descongelación de rodajas previamente congeladas en cámara de congelación (45.96% mayor en el caso de la técnica de contacto con gas frío de nitrógeno y 77.28% mayor con la técnica de dióxido de carbono sólido), lo cual significa que la velocidad de descongelación depende de la velocidad de formación de los cristales de hielo. Por esta razón, las velocidades de descongelación obtenidas con las rodajas congeladas en cámara fueron menores, ya que al ser una técnica de congelación lenta, el tamaño de los cristales de hielo formados es mayor, lo que implica mayor tiempo para descongelarse y por ende una menor velocidad de congelación.

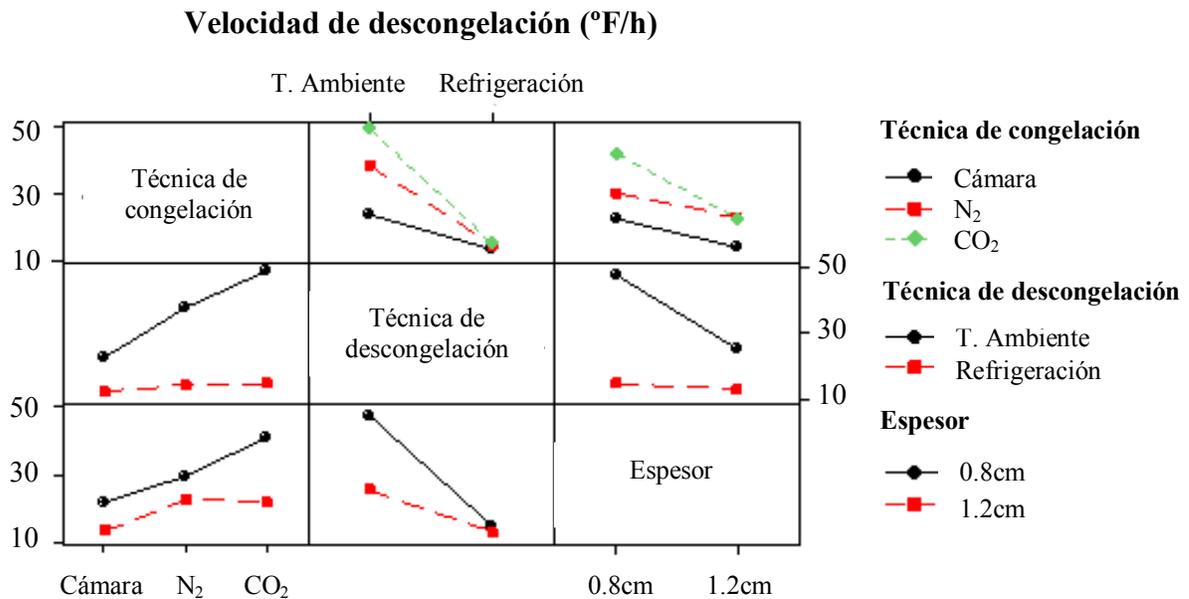


Figura 23. Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja, técnica de congelación y técnica de descongelación en la velocidad de descongelación.

Por otro lado, se obtuvo que en las rodajas congeladas con CO<sub>2</sub> sólido la influencia del método de descongelación y del espesor de rodaja en los valores de la velocidad de descongelación fue mayor que en el caso de las rodajas congeladas mediante los otros dos métodos.

Con base en el gráfico estadístico de la figura 23, donde se muestran las interacciones entre los factores de estudio en la velocidad de descongelación, se obtuvo que los valores de dicha variable correspondientes a la técnica de descongelación en cámara de refrigeración son muy parecidos entre sí, incluso para diferentes espesores y técnicas de congelación. De acuerdo a lo anterior, el espesor y la técnica de congelación no influyen considerablemente en la velocidad de descongelación de las rodajas de kiwi cuando se emplea la técnica de cámara de refrigeración. En cambio, las velocidades obtenidas a partir de la descongelación a temperatura ambiente presentan una clara diferencia entre espesores de rodaja y técnicas de congelación, por lo que si se desea descongelar rodajas de kiwi a temperatura ambiente habrá que tomar en cuenta el espesor de la rodaja y la técnica de congelación empleada.

De igual forma, se observa que con el menor espesor de rodaja (0.8 cm) la diferencia entre emplear una técnica de descongelación u otra es mucho mayor que con las rodajas de mayor espesor (1.2 cm), para las cuales el empleo de la técnica de descongelación de cámara de refrigeración o temperatura ambiente no es tan significativo en cuanto a los valores de la velocidad de descongelación.

### **3.3. Curvas de congelación- descongelación**

En esta sección se muestran las curvas de congelación-descongelación tanto para las rodajas de kiwi de 0.8 cm como para las de 1.2 cm de espesor.

En estas se aprecia que los periodos de descongelación son mayores que los concernientes a los de la congelación, debido a que, cuando las rodajas de kiwi se descongelan, el hielo superficial se funde formando una capa de agua cuya conductividad y difusividad térmica son inferiores a las del hielo, lo que trae como consecuencia la reducción de la velocidad de transmisión de calor hacia el interior del alimento.

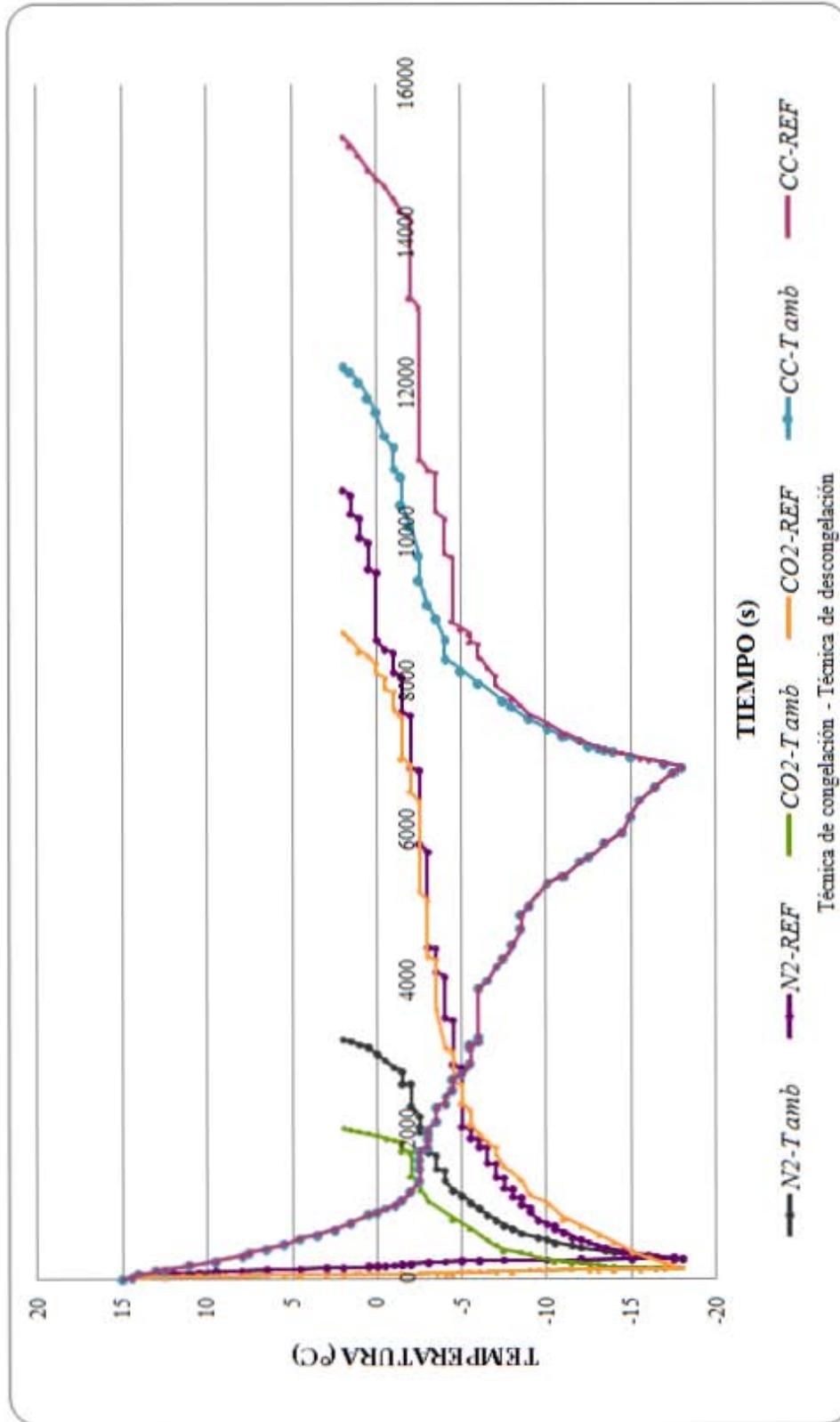


Figura 24. Curvas de congelación-descongelación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor.

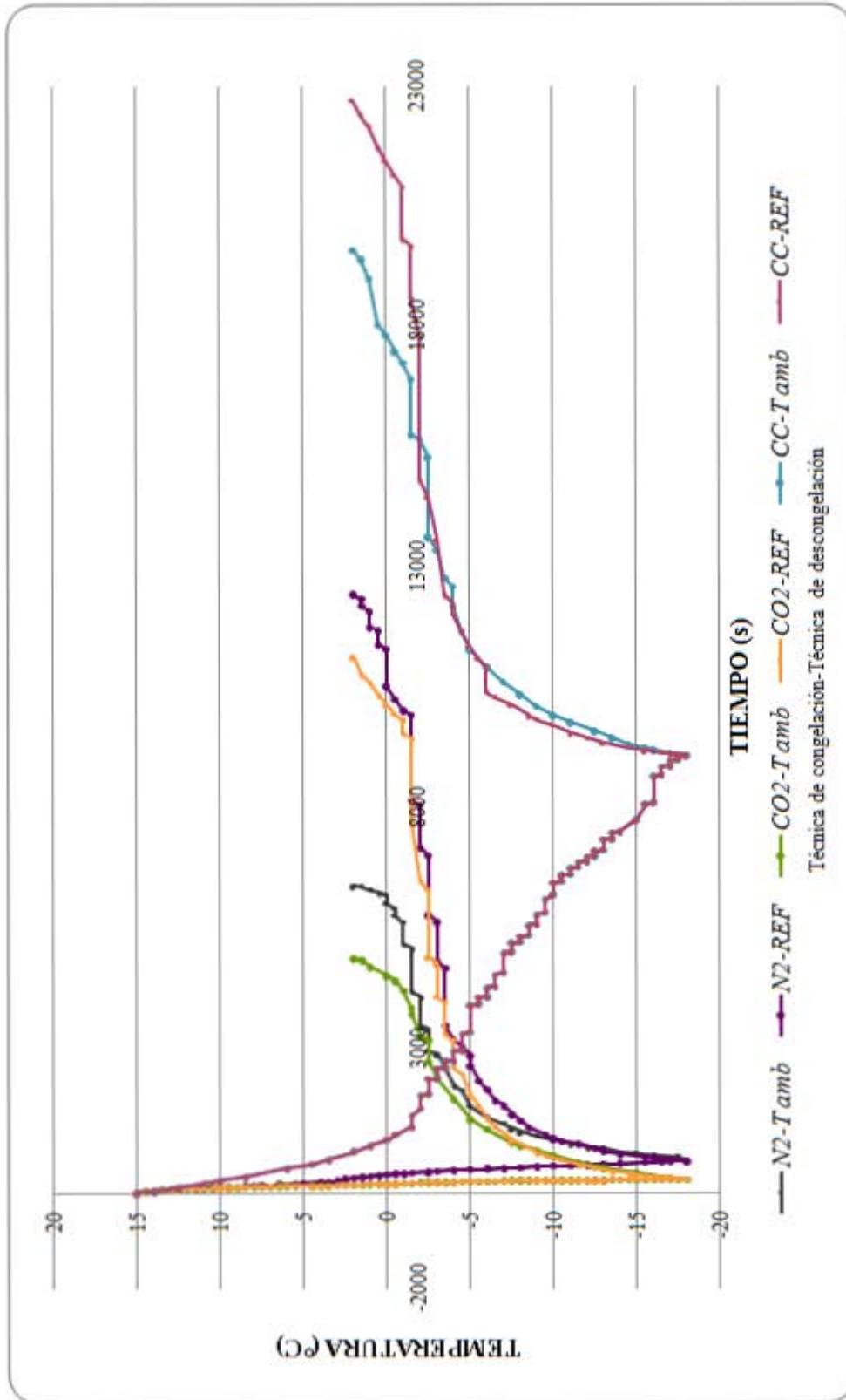


Figura 25. Curvas de congelación-descongelación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor.

Dicho efecto aislante aumenta a medida que el espesor del alimento descongelado se hace más grande, en contraste con lo que sucede en la congelación, donde a medida que la capa de hielo se hace más gruesa, la velocidad de transferencia de calor aumenta. No obstante, en el caso de las rodajas de kiwi congeladas en cámara de congelación y descongeladas a temperatura ambiente, el tiempo de congelación resultó mayor que el tiempo de descongelación para ambos espesores de rodaja, ya que en este caso se trataba de una congelación lenta y descongelación rápida.

### **3.4. Porcentaje de exudación**

Un aspecto muy importante desde el punto de vista de la conservación de la calidad del producto es el propio proceso de congelación. Como es sabido, el objetivo es hacer reversible este proceso, de tal modo que al descongelar el producto conserve sus características iniciales; sin embargo, la congelación del agua con su característico aumento de volumen, así como la acción de soluciones celulares concentradas, dañan la estructura del alimento. En alimentos con estructura celular como el kiwi, la magnitud de la pérdida de jugo por exudación es el índice más importante de la reversibilidad del tratamiento congelador, ya que el componente principal del jugo es agua que no vuelve a ser absorbida, la cual contiene nutrientes y cuya pérdida implica además una alteración en la textura del fruto.

Dicho fenómeno se vio reflejado en la aparición de un exudado después de descongelar las rodajas de kiwi, debido a que las células presentan cierta dificultad para reabsorber el líquido que fue difundido hacia el exterior. Además que las superficies de la célula del kiwi están recubiertas por una capa de jugo, a diferencia de otras frutas donde no se observa dicha capa de jugo libre (Knee, 2007), lo cual propicia un mayor grado de exudación de las rodajas de kiwi al ser descongeladas.

La tabla 9 contiene la media de los porcentajes de exudación de las rodajas de kiwi sometidas a un proceso de congelación-descongelación empleando las diferentes técnicas de estudio, así como la desviación estándar y coeficiente de variación calculados a partir de los porcentajes de exudación concernientes a las réplicas de cada evento experimental.

Tabla 9  
*Porcentajes de exudación de rodajas de kiwi sometidas a un proceso de congelación-descongelación.*

Evento	Método de congelación	Método de descongelación	Espesor (cm)	% exudación	DESV. EST.	CV
1	CC	TA	0.8	11.447	0.527	4.603
2	CC	TA	1.2	9.232	0.186	2.014
3	CC	RE	0.8	8.615	0.511	5.931
4	CC	RE	1.2	6.206	0.488	7.863
5	CO <sub>2</sub>	TA	0.8	5.239	0.259	4.943
6	CO <sub>2</sub>	TA	1.2	3.571	0.311	8.709
7	CO <sub>2</sub>	RE	0.8	4.410	0.331	7.505
8	CO <sub>2</sub>	RE	1.2	3.051	0.121	3.965
9	N <sub>2</sub>	TA	0.8	6.220	0.548	8.810
10	N <sub>2</sub>	TA	1.2	5.915	0.170	2.874
11	N <sub>2</sub>	RE	0.8	4.563	0.212	4.646
12	N <sub>2</sub>	RE	1.2	4.484	0.306	6.824
13	CC	TA	0.8	10.529	0.526	4.995
14	CC	TA	1.2	9.158	0.504	5.503
15	CC	RE	0.8	8.552	0.415	4.852
16	CC	RE	1.2	6.118	0.166	2.713
17	CO <sub>2</sub>	TA	0.8	5.334	0.453	8.492
18	CO <sub>2</sub>	TA	1.2	3.457	0.211	6.103
19	CO <sub>2</sub>	RE	0.8	4.540	0.248	5.462
20	CO <sub>2</sub>	RE	1.2	2.992	0.105	3.509
21	N <sub>2</sub>	TA	0.8	6.073	0.570	9.385
22	N <sub>2</sub>	TA	1.2	5.843	0.355	6.075
23	N <sub>2</sub>	RE	0.8	4.875	0.208	4.266
24	N <sub>2</sub>	RE	1.2	4.520	0.138	3.053

CC: Cámara de congelación, TA: Temperatura ambiente, RE: Cámara de refrigeración

Para el análisis de los resultados obtenidos, se presentan los siguientes gráficos comparativos. En las figuras 26 y 27, se muestran los porcentajes de exudación que presentaron las rodajas de kiwi descongeladas a temperatura ambiente y en cámara de refrigeración respectivamente. En estas se aprecia el efecto tanto del espesor de rodaja como del método de congelación en dicho parámetro indicativo de la calidad del kiwi al descongelarse.

Al analizar el efecto que tuvo el espesor de rodaja en el grado de exudación, se sostiene que el mayor espesor (1.2 cm) favoreció la disminución de dicho parámetro que afecta la calidad de los productos descongelados, obteniendo así una mayor daño con el espesor de 0.8 cm. Esto puede explicarse por el hecho de que las rodajas, al ser más delgadas son menos

firmes y más susceptibles a daños físicos, además de que la migración de agua hacia la superficie se ve favorecida con un menor espesor, pues la distancia a recorrer es menor, liberándose así con mayor facilidad los jugos extracelulares.

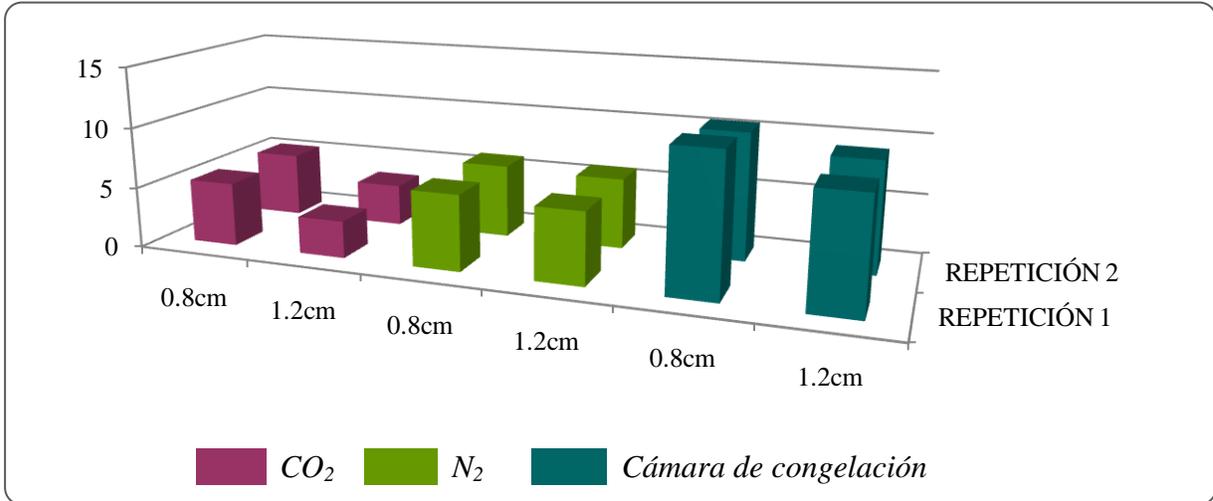


Figura 26. Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas a temperatura ambiente.

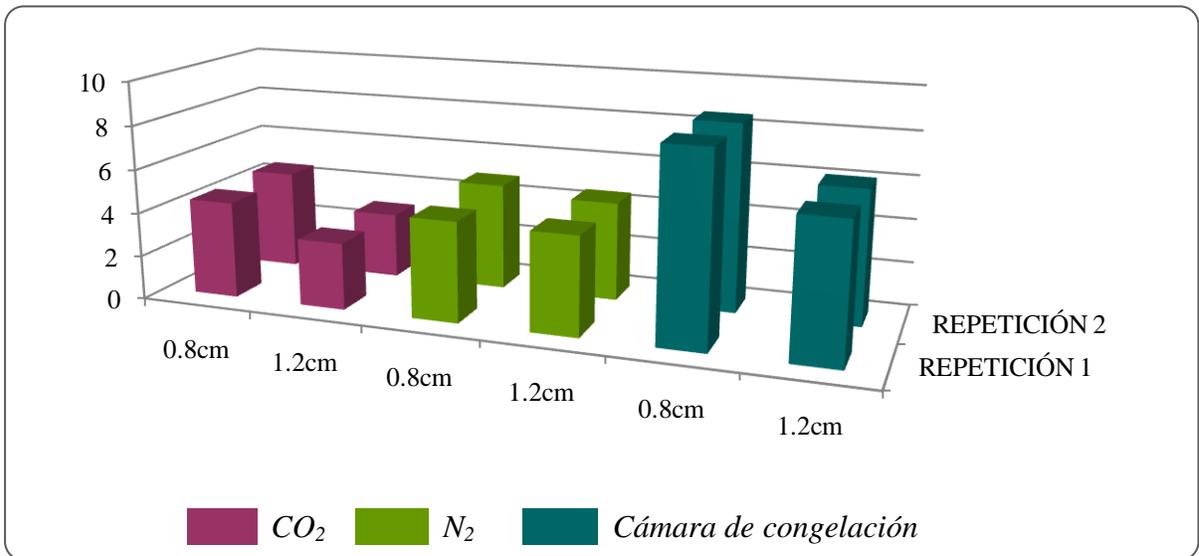


Figura 27. Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas en cámara de refrigeración.

Con lo que respecta a la influencia del método de congelación, se observa que existe una relación entre la velocidad de congelación y el daño ocasionado al producto, ya que a mayor velocidad (obtenida con la técnica de CO<sub>2</sub>) el grado de exudación disminuye, de tal

modo que dicho daño se ve incrementado cuando la velocidad de congelación es lenta, puesto que la formación de hielo se realiza en la parte externa de las células, razón por la cual las rodajas de kiwi congeladas en cámara de congelación presentaron un mayor grado de exudación comparado con el obtenido con las técnicas de congelación criogénica.

Además, la congelación lenta preserva en menor grado la estructura celular de las rodajas de kiwi ya que el agua presente en los espacios intercelulares, al tener una concentración menor en solutos que la que hay en el interior de la célula presenta un punto inicial de congelación más alto congelándose antes y haciendo que el fluido extracelular se concentre en nutrientes. Esto provoca una salida de agua de las células para compensar dicha concentración, lo cual se ve reflejado en un mayor grado de exudación (Madrid, 1991).

De esta forma, la congelación rápida permite preservar la textura en mayor grado debido a que el agua presente en el interior de la célula se congela formando pequeños cristales antes de que se formen cristales extracelulares más grandes. De esta forma también se ve reducido el porcentaje de exudación, ya que el agua permanece dentro de las células en mayor proporción al descongelar el producto.

Por otro lado, el efecto de la técnica de descongelación en el grado de exudación se muestra en las figuras 28 y 29, en las cuales se observa que los valores pequeños fueron derivados de la descongelación de kiwi a temperatura de refrigeración. Boonsumrej *et al.* (2007) estudiaron el efecto de la congelación y descongelación en la calidad de camarón, empleando aire forzado y gas frío de nitrógeno como técnicas de congelación y descongelando mediante microondas y refrigeración, obteniendo, entre otros parámetros de calidad, el porcentaje de exudación. Sus resultados son similares a los obtenidos en esta investigación, de tal modo que el menor grado de exudación fue el derivado del proceso de congelación rápida-descongelación lenta, obteniendo así altos índices de exudación cuando el producto se congelaba con aire forzado y se descongelaba a la mayor temperatura empleada.

De esta forma, un proceso de descongelación lenta es preferible para la conservación de la calidad inicial del producto, ya que da tiempo a la absorción del agua para que pueda regresar a su posición original en el tejido, presentando así las rodajas de kiwi un menor grado de exudación.

Así, las pérdidas de producto por exudación son particularmente elevadas con temperaturas de descongelación altas, por lo que la influencia de las condiciones de descongelación es evidente, de tal forma que el grado de exudación resulta tanto mayor cuanto más rápidamente se lleva a cabo la descongelación.

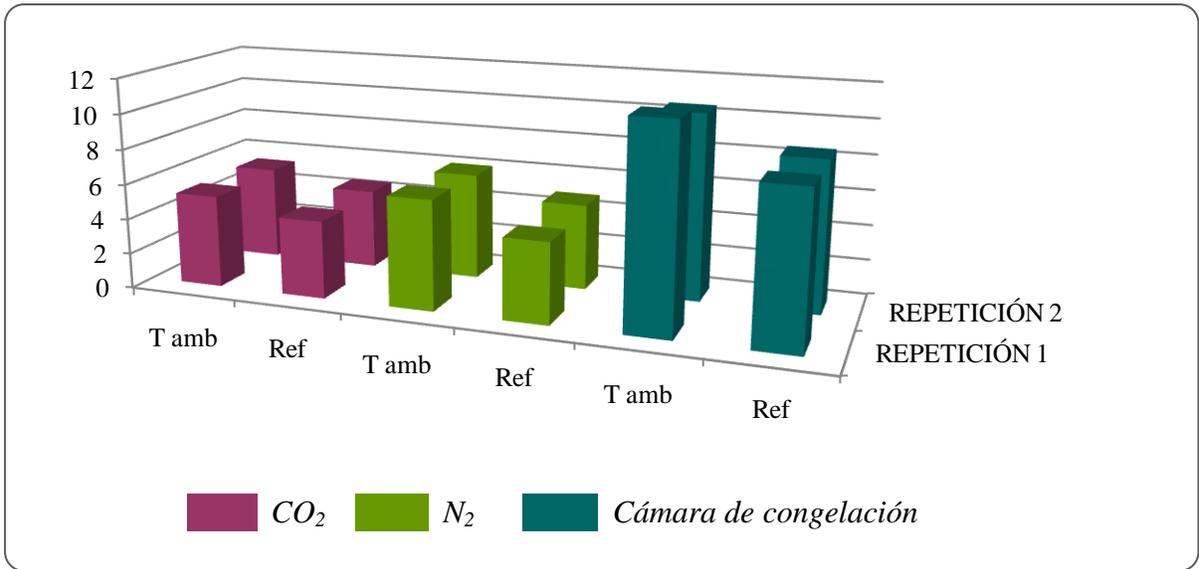


Figura 28. Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas.

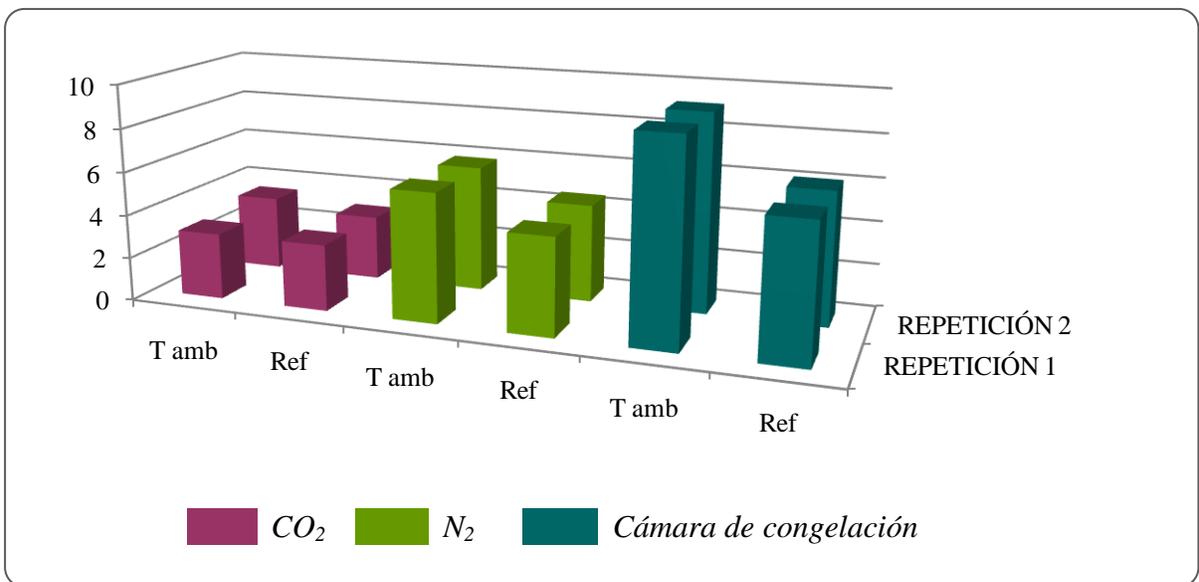


Figura 29. Porcentaje de exudación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas.

Con base en los gráficos estadísticos (figuras 30, 31, 36 y 37) derivados de los valores del porcentaje de exudación y de deformación en cada uno de los eventos experimentales, se confirma la relación existente entre dichos parámetros de calidad, ya que su comportamiento ante la variación de los diferentes factores de estudio es el mismo.

**Porcentaje de exudación**

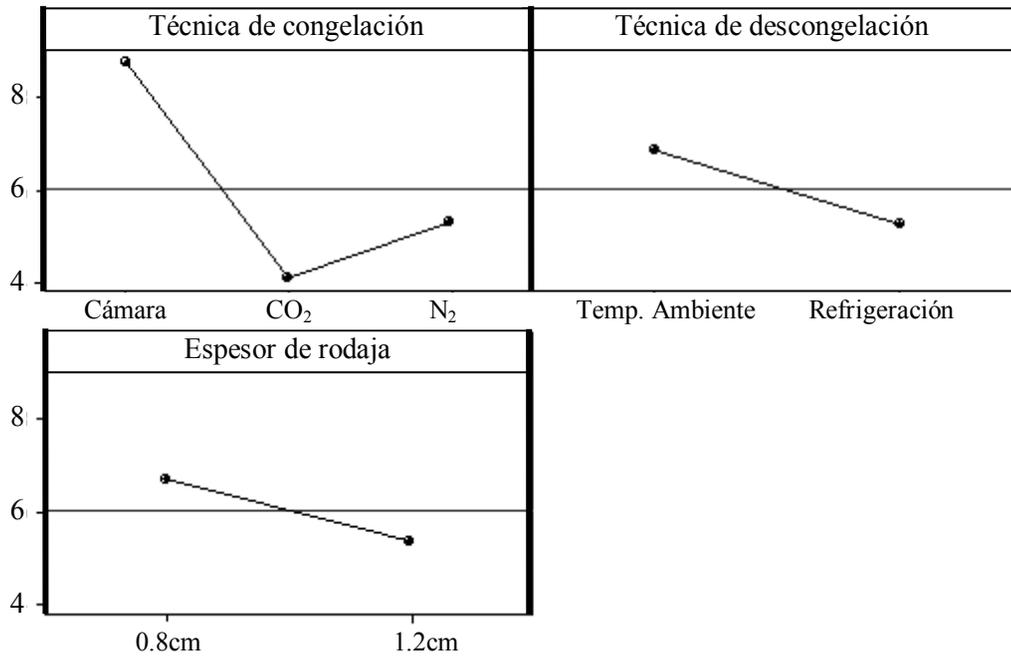


Figura 30. Gráfico estadístico de comparación de medias de porcentaje de exudación.

La técnica de descongelación y el espesor de rodaja de kiwi, tal como se muestra en las figuras 30 y 36, influyeron en los porcentajes de exudación y deformación obtenidos, sin embargo, el factor con mayor contribución fue la técnica de congelación. De este modo se obtuvo que el porcentaje de exudación y de deformación de las rodajas de kiwi congeladas por frío mecánico en cámara de congelación es mayor que los obtenidos mediante las técnicas criogénicas (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>); así, en el caso del grado de exudación, los valores obtenidos con la técnica de cámara de congelación fueron 64.41 y 114.33% mayores que los obtenidos con las técnicas de contacto con N<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> respectivamente; mientras que en el porcentaje de deformación, el incremento fue de 62.21% comparado con la técnica de N<sub>2</sub> y de 94.51% en el caso de la técnica de contacto con CO<sub>2</sub> sólido.



37 donde los puntos se encuentran casi sobrepuestos. De esta forma, se puede decir que para esta técnica, la congelación de rodajas de kiwi de un espesor u otro es indistinta, en cuanto a los valores de dichos parámetros de calidad. Con respecto a la influencia de la técnica de descongelación, sólo se obtuvo una diferencia notoria en el grado de exudación, ya que los valores del porcentaje de deformación de rodajas de kiwi congeladas por contacto con gas frío de nitrógeno y descongeladas a temperatura ambiente y de refrigeración resultaron muy parecidos.

En el caso de la congelación con CO<sub>2</sub> sólido, los porcentajes de exudación y de deformación obtenidos a partir de rodajas descongeladas a temperatura ambiente y de refrigeración fueron muy parecidos, siendo en este caso, el espesor de rodaja el factor de mayor contribución en los índices de calidad obtenidos.

### **3.5. Porcentaje de deformación**

La tabla 10 presenta los resultados del porcentaje de deformación que, contrastando las velocidades de congelación, es de notarse que el mayor porcentaje de deformación se presenta cuando el periodo de congelación es prolongado.

Esto se debe a que las velocidades obtenidas en el proceso de congelación mediante la técnica de convección forzada de aire en cámara de congelación (18.42 y 13.849 °F/h para 0.8 y 1.2 cm de espesor de rodaja respectivamente) se encuentran dentro del método de congelación lenta, lo cual conlleva a la formación de pocos núcleos durante la congelación que dan origen a grandes cristales de hielo. Dichos cristales comienzan y extienden su formación en los espacios intersticiales, debido a que la concentración de solutos es menor que en el interior del citoplasma, lo que induce la destrucción de las células provocando efectos negativos en la textura por la acción mecánica que ejercen los cristales de hielo sobre los tejidos del alimento, como se refleja en los valores obtenidos del porcentaje de deformación de rodajas de kiwi congeladas con esta técnica. Así, la congelación rápida indujo que el porcentaje de deformación fuera menor, lo que quiere decir que las muestras de kiwi se tornaron más rígidas y conservaron mejor su textura.

Tabla 10. Porcentajes de exudación de rodajas de kiwi sometidas a un proceso de congelación-descongelación.

Evento	Método de congelación	Método de descongelación	Espesor (cm)	% deformación	DESV. EST.	CV
1	CC	TA	0.8	19.303	0.841	4.356
2	CC	TA	1.2	17.553	0.649	3.697
3	CC	RE	0.8	16.186	0.851	5.257
4	CC	RE	1.2	13.436	0.580	4.316
5	CO <sub>2</sub>	TA	0.8	9.917	0.160	1.613
6	CO <sub>2</sub>	TA	1.2	8.046	0.433	5.381
7	CO <sub>2</sub>	RE	0.8	9.387	0.616	6.562
8	CO <sub>2</sub>	RE	1.2	7.144	0.357	4.997
9	N <sub>2</sub>	TA	0.8	11.047	0.563	5.096
10	N <sub>2</sub>	TA	1.2	10.206	0.591	5.790
11	N <sub>2</sub>	RE	0.8	10.063	0.385	3.557
12	N <sub>2</sub>	RE	1.2	9.576	0.245	2.558
13	CC	TA	0.8	20.019	0.194	0.969
14	CC	TA	1.2	17.312	0.610	3.523
15	CC	RE	0.8	16.713	0.450	2.692
16	CC	RE	1.2	13.866	0.682	4.918
17	CO <sub>2</sub>	TA	0.8	9.973	0.119	1.193
18	CO <sub>2</sub>	TA	1.2	7.955	0.231	2.903
19	CO <sub>2</sub>	RE	0.8	9.664	0.761	7.874
20	CO <sub>2</sub>	RE	1.2	7.002	0.125	1.785
21	N <sub>2</sub>	TA	0.8	11.973	0.847	7.074
22	N <sub>2</sub>	TA	1.2	10.345	0.660	6.379
23	N <sub>2</sub>	RE	0.8	10.106	0.463	4.581
24	N <sub>2</sub>	RE	1.2	9.489	0.260	2.740

En seguida se presentan los gráficos comparativos y estadísticos obtenidos a partir de los valores del porcentaje de deformación, que como se mencionó anteriormente, exhiben el mismo comportamiento ante la variación de las técnicas de congelación-descongelación y el espesor del producto que los gráficos del grado de exudación. En las figuras 32 y 33 se observa el efecto de la técnica de congelación y del espesor del producto sobre el porcentaje de exudación, comportándose dicho parámetro de igual forma que el grado de exudación ante los diferentes niveles de variación de los factores en estudio.

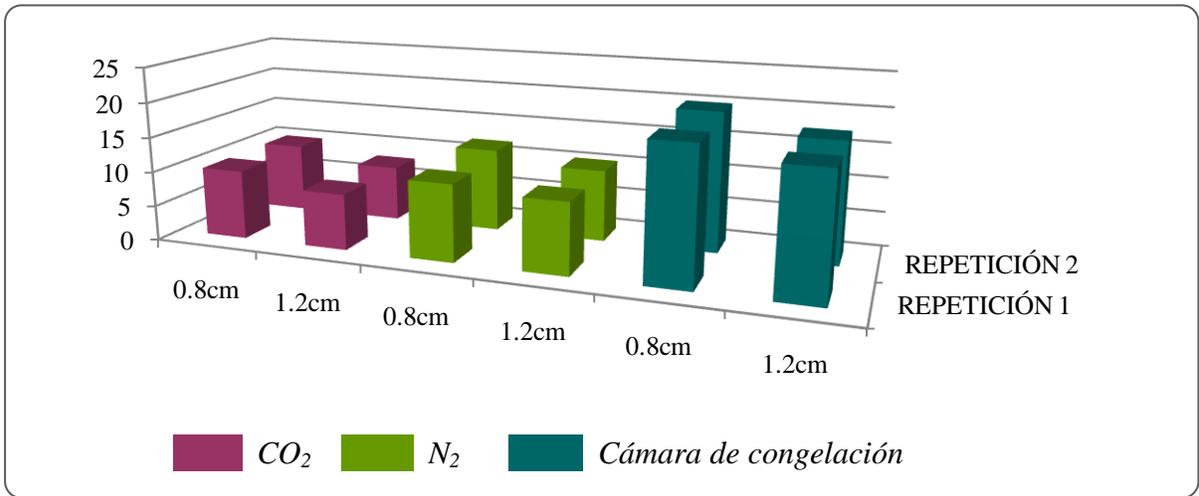


Figura 32. Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas a temperatura ambiente.

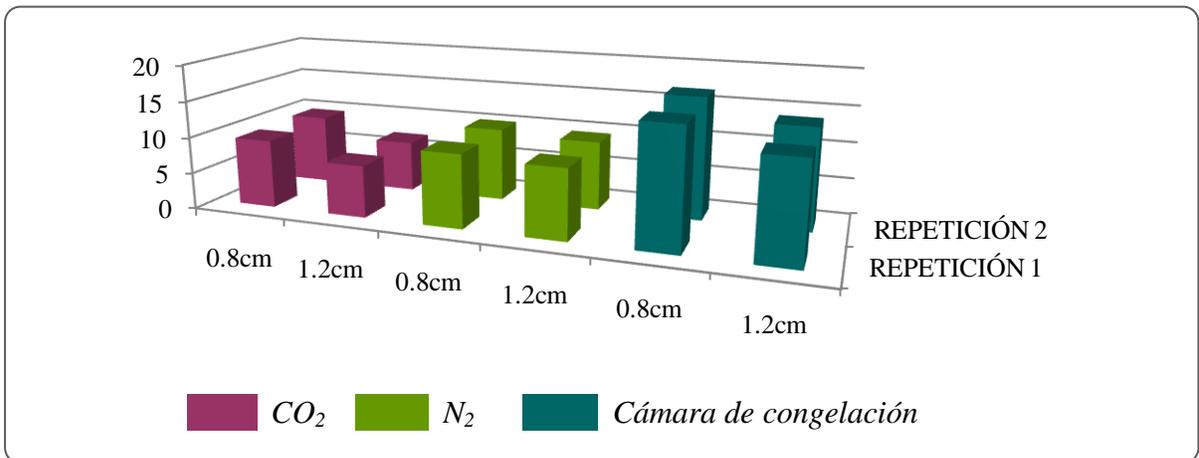


Figura 33. Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 y 1.2 cm de espesor congeladas con distintas técnicas y descongeladas en cámara de refrigeración.

Por su parte, los valores derivados de la descongelación a temperatura ambiente implicaron un incremento en el porcentaje de deformación del 98.26%, mientras que en la descongelación mediante cámara de refrigeración las rodajas de kiwi presentaron un porcentaje de deformación 71.13% mayor que el fruto fresco

En las figuras 34 y 35 se aprecia el efecto de la técnica de descongelación sobre los valores del porcentaje de deformación obtenidos, de tal forma que el método de descongelación en cámara de refrigeración propició una disminución del daño provocado a las

rodajas de kiwi al presentar menores porcentajes de deformación, tal como sucedió en el caso del grado de exudación.

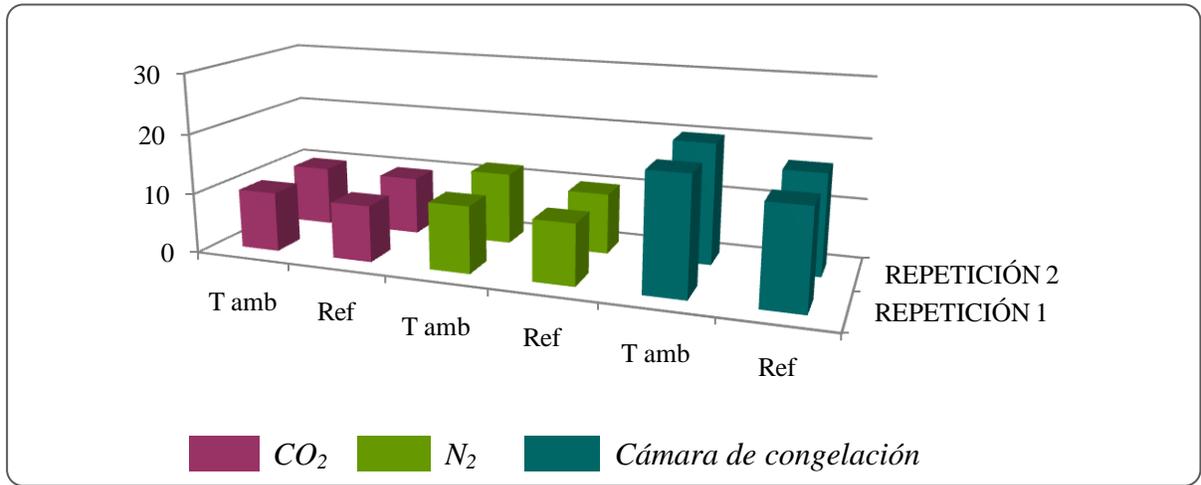


Figura 34. Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 0.8 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas.

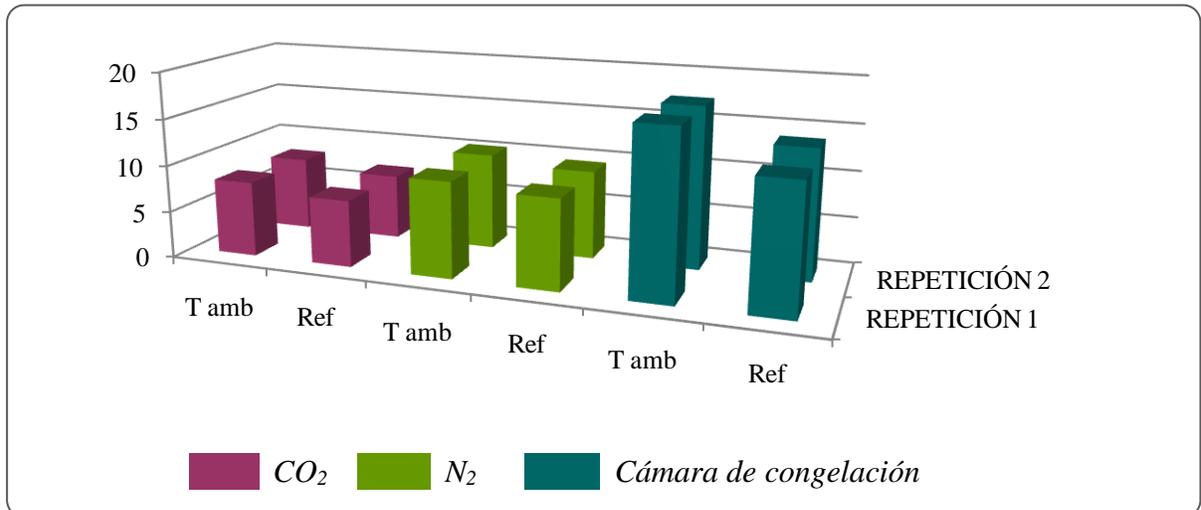


Figura 35. Porcentaje de deformación de rodajas de kiwi de 1.2 cm de espesor congeladas-descongeladas mediante distintas técnicas.

Con respecto a los gráficos obtenidos del análisis estadístico realizado con ayuda del software Minitab 14, la tendencia de los valores y las interacciones entre los factores son las mismas que las obtenidas con el porcentaje de exudación, como se mencionó anteriormente.

Porcentaje de deformación

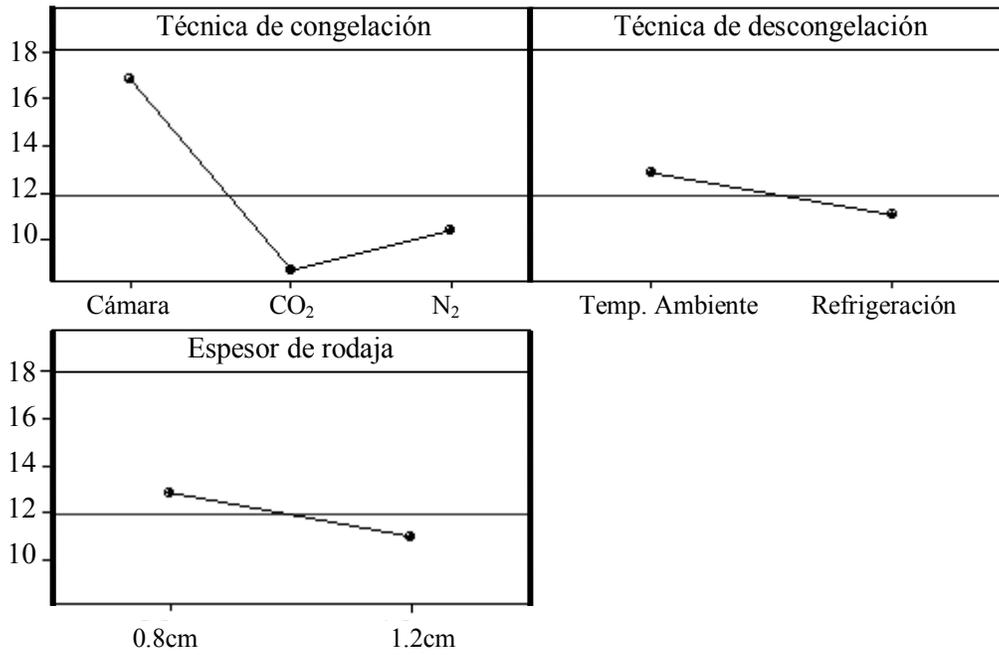


Figura 36. Gráfico estadístico de comparación de medias de porcentaje de deformación.

Porcentaje de deformación

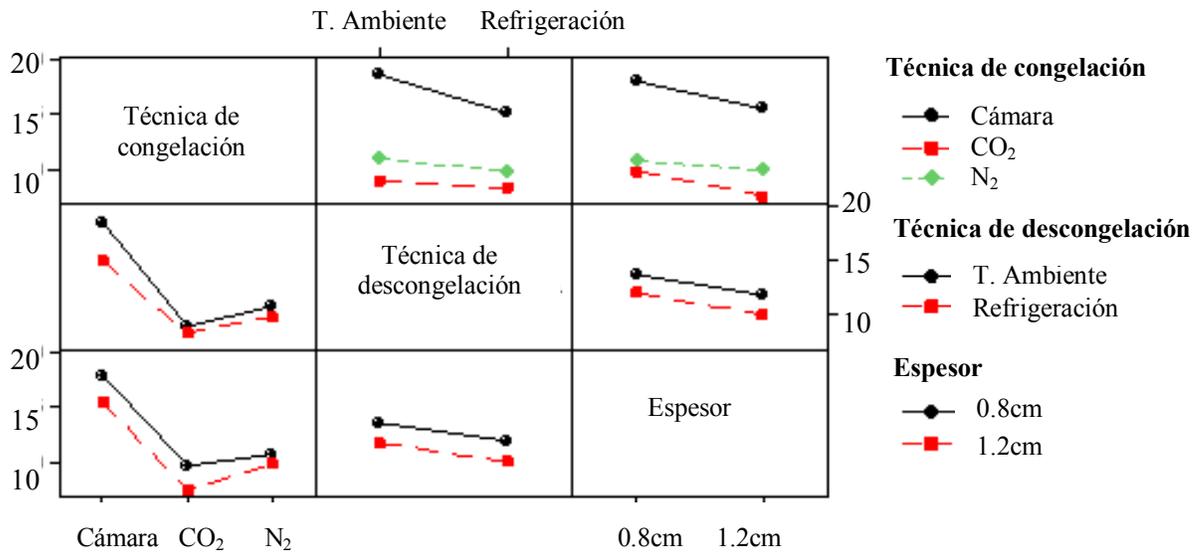


Figura 37. Gráfico estadístico de interacciones entre el espesor de rodaja, técnica de congelación y técnica de descongelación entre el porcentaje de deformación.

Si bien la velocidad de congelación fue determinante en el grado de exudación y porcentaje de deformación, no fue el único factor con influencia sobre la evolución regresiva de las modificaciones causadas por la congelación, sino que también existen factores como la velocidad de descongelación y el espesor del producto que hay que tomar en cuenta, ya que se registraron notables diferencias en cuanto a los valores del porcentaje de exudación y deformación, no sólo entre las técnicas de congelación utilizadas, sino también dentro de la misma técnica, de acuerdo con el espesor de las rodajas de kiwi y la técnica empleada para su descongelación. La diferencia entre la media del grado de exudación obtenida con un espesor y otro fue de 24.56%, mientras que en las técnicas de descongelación la diferencia fue de 30.27%; por otra parte, en el caso del porcentaje de deformación las diferencias entre espesores y técnicas de descongelación fueron de 16.99 y 15.85% respectivamente. No obstante, a pesar de dichas diferencias, el espesor de rodaja y la velocidad de descongelación no ejercen una influencia tan decisiva sobre la calidad del producto como la velocidad de congelación, en la cual se observa claramente la diferencia entre el empleo de una técnica u otra; de este modo, las diferencias entre las medias de los parámetros de calidad obtenidas con las técnicas de cámara de congelación y contacto con CO<sub>2</sub> sólido (con las cuales se obtuvo la menor y la mayor velocidad de congelación) fueron mayores, registrándose una diferencia de 114.33% en el grado de exudación y de 94.51% para el caso del porcentaje de deformación.

Debido a que el kiwi se encuentra clasificado dentro de los frutos que se reblandecen considerablemente hasta una textura fundente, en los cuales la adhesión célula a célula es pobre y el tejido puede separarse con una ruptura celular mínima (Bourne, 1979), es de particular importancia seleccionar un método de congelación apropiado que conserve en la mayor medida posible la calidad inicial del fruto. Con base en los resultados obtenidos, se encontró que la congelación de rodajas de kiwi de 1.2 cm con CO<sub>2</sub> sólido en combinación con una descongelación lenta (cámara de refrigeración) ofrece la mejor alternativa para una mejor reversibilidad de la calidad inicial del producto, ya que bajo estas condiciones las rodajas de kiwi presentan un menor grado de exudación y porcentaje de deformación al ser sometidas a la acción de una fuerza. Sin embargo, la técnica de congelación con dióxido de carbono sólido presenta algunos inconvenientes como son su alto costo, rápida sublimación de los bloques, que además adquieren la forma del producto, creándose cavidades que dificultan el contacto con las rodajas, por lo que si se desea volver a utilizar los bloques después de un proceso de

congelación, es necesario aplanar el bloque para garantizar el contacto directo con el producto, lo que representa cierta pérdida de CO<sub>2</sub> sólido. Por lo que una alternativa para la congelación de rodajas de kiwi es la técnica de contacto con gas frío de nitrógeno, ya que ésta, al igual que la técnica por contacto con CO<sub>2</sub> son técnicas de congelación criogénicas que de acuerdo a los resultados obtenidos, conservaron en mayor grado las características iniciales del producto, sin embargo, la técnica con N<sub>2</sub> presenta menos inconvenientes y su rendimiento es mayor.

## CONCLUSIONES

- Los índices de calidad analizados (porcentaje de deformación y grado de exudación) están relacionados con la velocidad de congelación, la cual es una consecuencia del espesor de rodaja de kiwi y de la técnica de congelación empleada; es decir, estos atributos de calidad se encuentran influenciados por la velocidad con que se produce la congelación, de tal forma que cuando la congelación es rápida, las afectaciones sobre el producto resultan considerablemente menores en comparación con la congelación lenta.

- Es evidente la influencia del espesor de las rodajas de kiwi sobre los parámetros de calidad evaluados en todos los procesos de congelación-descongelación. El mayor espesor (1.2 cm) favoreció la disminución de dichos parámetros que afectan la calidad del producto, obteniendo así un mayor daño con el espesor de 0.8 cm, debido a que las rodajas, al ser más delgadas, son más susceptibles a daños físicos, viéndose además favorecida la migración de agua con un menor espesor; lo cual debe ser considerado en la práctica o a nivel industrial, puesto que el espesor de las rodajas debe facilitar la manipulación del producto y minimizar las pérdidas por daños físicos, recuperando al máximo las características iniciales del fruto después de haber sido congelado-descongelado.

- Así mismo, la velocidad de descongelación influye en la calidad de las rodajas de kiwi congeladas, de tal forma que un proceso de descongelación lenta es preferible para la conservación de la calidad inicial del producto, ya que favorece la absorción del agua, por este método las rodajas de kiwi tienen un menor grado de exudación.

- El factor con mayor contribución sobre el grado de exudación y el porcentaje de deformación fue la técnica de congelación, existiendo una diferencia notoria en la calidad de las rodajas congeladas en cámara de congelación con respecto a la obtenida mediante las técnicas por contacto con gas frío de nitrógeno y dióxido de carbono sólido.

- Con base en los valores del grado de exudación y porcentaje de exudación obtenidos, se obtuvo que las condiciones apropiadas del proceso de congelación-descongelación de

rodajas de kiwi son: un espesor de 1.2 cm, empleando CO<sub>2</sub> sólido y cámara de refrigeración como técnicas de congelación y descongelación respectivamente. Sin embargo, una alternativa para la congelación de rodajas de kiwi es la técnica de contacto con gas frío de nitrógeno, puesto que además de presentar una calidad similar comparada con la técnica de contacto con CO<sub>2</sub> sólido, resulta en menos inconvenientes en cuanto al manejo y contacto con el producto.

- Actualmente no se reportan estudios sobre la evaluación de parámetros de calidad como el porcentaje de deformación y grado de exudación de kiwi congelado-descongelado, por lo que en este trabajo se resalta la importancia de las técnicas empleadas en el proceso de congelación-descongelación sobre el daño en la calidad de rodajas de kiwi, por tanto, estos resultados representan un avance en el estudio de dicho producto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, J. (2002). *Ingeniería Alimentaria: Operaciones de conservación de alimentos*. España: Editorial síntesis.
- Barrett, D. (2005). *Processing fruits: Science and technology*. Estados Unidos: CRC Press.
- Bing, L., Sun, D. (2001). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods. *Journal of Food Engineering*, 54, 175–182.
- Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Suzuki, T., Takai, R. (2006). Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, 80, 292-299.
- Bourne, M.C. (1979). Texture of temperate fruit. *Journal of Texture Studies*, 10, 25-44.
- Brennan, J. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. España: Acribia S.A.
- Camacho, B., Ramirez, N., Moreno, J. (2005). Evaluación fisicoquímica de pulpa de coroba almacenada en condiciones de congelación. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 5(1), 25-29.
- Casp, A. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. España: Mundi-Prensa.
- Chassagne, S., Poirier, C., Devaux, M., Pigorini, G. (2009). Changes in texture, cellular and cell wall composition in Apple tissue as a result of freezing. *Food Research International*, 42, 788-797.
- Crisosto, C. (2007). *Recomendaciones para mantener la calidad Postcosecha de kiwi*. Postharvest Technology Research Information Center. Universidad de California. Consultado el 29 de agosto de 2009 en <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Kiwi.shtml>.
- Dirección General de Divulgación de la Ciencia (2006). *El kiwi*. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado el 03 de septiembre de 2009, de [http://www.dgdc.unam.mx/temp\\_kiwi.html](http://www.dgdc.unam.mx/temp_kiwi.html).
- Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas*. España: Acribia S.A.

- Guamán Jeraldo, Adrián (2006). *Predicción de la tasa de ablandamiento del kiwi (Actinidia deliciosa) mediante maduración acelerada*. Tesis de Ingeniería Agrónoma, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Chile. Consultada en línea el 20 de septiembre de 2009 en [http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2006/guaman\\_a/html/index-frames.html](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2006/guaman_a/html/index-frames.html).
- Gruda, Z. (1986). *Tecnología de la congelación de los alimentos*. España: Acribia S.A.
- Instituto Internacional del Frío (1990). *Alimentos congelados: Procesado y distribución*. España: Acribia S.A.
- Jerez Silva, Gonzalo (2004). *Efecto de algunas características de la planta y del fruto, sobre el potencial de ablandamiento del fruto de kiwi (Actinidia deliciosa) variedad hayward, en la séptima región*. Tesis de Ingeniería Agrónoma, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Chile. Consultada en línea el 20 de septiembre de 2009 en [http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2004/jerez\\_g/sources/jerez\\_g.pdf](http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2004/jerez_g/sources/jerez_g.pdf).
- Kerr, W., Clark, C., McCarthy, M., Ropp, J. (1997). Freezing effects in fruit tissue of kiwifruit observed by magnetic resonance imaging. *Scientia Horticulturae*, 69, 169-179.
- Khadatkar, R., Kumar, S., Pattanayak, S. (2004). Cryofreezing and cryofreezer. *Cryogenics*, 44, 661-678.
- Knee, M. (2007). *Bases biológicas de la calidad de la fruta*. España: Acribia S.A.
- Madrid, A. (1991). *Los gases en la alimentación*. España: A. Madrid Vicente Ediciones.
- Mafart, P. (1994). *Ingeniería industrial alimentaria, Volumen I: Procesos físicos de conservación*. España: Acribia S.A.
- Mainland, C. (2006). *Kiwifruit*. Department of Horticultural Science. NCS University. Consultado el 07 de septiembre de 2009 en <http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/pdf/hil-208.pdf>.
- Martínez, N. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*. Universidad Politécnica de Valencia. Consultado en línea el 01 de octubre de 2009 en [http://books.google.com.mx/books?id=bLQ\\_Lj6C4p8C&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.com.mx/books?id=bLQ_Lj6C4p8C&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false).
- Nazrul, I., Prabhu, V. (2006). Mathematical modeling and simulation of cryogenic tunnel freezers. *Journal of Food Engineering*, 80, 701-710.
- Plank, R. (1984). *El empleo del frío en la industria de la alimentación*. España: Reverté S.A.
- Potter, N. (1978). *La ciencia de los alimentos*. México: Edutex S.A.

- Talens, P., Escriche, I., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A. (2003). Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit. *Food Research International*, 36, 635-642.
- Tocci, A., Mascheroni, R. (2008). Some thermal properties of fresh and osmotically dehydrated kiwifruit above and below the initial freezing temperature. *Journal of Food Engineering*, 88, 20-27.
- Zambrano, M., Meléndez, R., Arjona, J. (n.d.). *Efecto de la orientación de fibras y espesor de corte sobre la velocidad de congelación de carne de cerdo*. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado el 07 de septiembre de 2009 en <http://www.encb.ipn.mx/cibia/TomoI/I-87.pdf>.

# **APÉNDICE**

---

Glosario de Términos

# APÉNDICE A

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Calor latente.** Es la cantidad de calor necesaria para producir un cambio de fase, sin suscitarse un cambio de temperatura a presión constante.

**Calor sensible.** Energía calorífica que, aplicada a una sustancia, aumenta su temperatura.

**Coefficiente convectivo.** Es el parámetro que permite medir la capacidad que tienen los fluidos para transferir calor por movimiento ya sea de manera natural o forzada.

**Congelación.** La congelación es aquella operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, con lo que una porción elevada de agua que contiene cambia de estado formando cristales de hielo.

**Conducción.** Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra parte del mismo, o de un cuerpo a otro cuerpo con el que está en contacto físico, sin que podamos apreciar un desplazamiento de las partículas que conforman estos cuerpos.

**Convección.** Es la transferencia de calor de un punto a otro dentro de un fluido, mediante la mezcla de regiones frías con regiones calientes. En la convección natural el movimiento del fluido se debe exclusivamente a las diferencias de temperaturas en las distintas regiones del sistema. En la convección forzada se utilizan medios mecánicos para favorecer el mezclado.

**Crioconcentración.** También conocida con el nombre de crioósmosis es el desequilibrio osmótico y migración de agua hacia el exterior, como consecuencia de la diferencia de la presión de vapor de los cristales de hielo con respecto a la del interior de las células.

**Criogenia.** La palabra criogenia deriva del griego *crios* que significa frío y *genea* que significa nacimiento. En la práctica, la criogenia se define como la ciencia dedicada a la producción de bajas temperaturas, en general por debajo de  $-100^{\circ}\text{C}$ .

**Deformación.** La deformación de un cuerpo es una comparación entre el tamaño original y el tamaño después de aplicar un esfuerzo.

**Descongelación.** Proceso de elevación paulatina de la temperatura del producto congelado hasta una temperatura superior al punto inicial de congelación.

**Dilatación.** Proceso físico por el cual se produce un cambio de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica de un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en ella por cualquier medio.

**Exudación.** Salida de una sustancia fluida al exterior del cuerpo que la contiene. En la tecnología de descongelación, la exudación se produce por la liberación de jugo causada por el daño físico de las células del alimento provocado por el crecimiento de cristales de hielo durante la congelación.

**Punto inicial de congelación (PIC).** Es la temperatura a la cual inicia la congelación de una sustancia y que depende del contenido de sustancias disueltas en ella.

**Sublimación.** Es el proceso que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido.

**Tiempo efectivo de congelación.** Representa una medida del tiempo que el alimento debe permanecer en el equipo de congelación y se utiliza para calcular la capacidad del proceso.

**Tiempo de congelación nominal.** Se emplea para calcular el deterioro sobre el alimento, ya que no toma en consideración las condiciones iniciales o las diferentes velocidades de congelación en los distintos puntos de su superficie.

**Turgencia.** La turgencia es el fenómeno por el cual las células, al absorber agua, se hinchan, ejerciendo presión contra las membranas celulares, lo cual determina el estado de rigidez de una célula.

**Velocidad de congelación (°C/h).** Se expresa como el cociente de la diferencia entre la temperatura inicial de congelación y la temperatura final del producto, dividiendo entre el tiempo de congelación.

**Velocidad del frente del hielo (cm/h).** Se define como la rapidez con la cual se desplaza el hielo a través del producto.

# **ANEXOS**

---

Fichas Técnicas

## FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Producto: **NITRÓGENO LÍQUIDO**

Revisión: 5

Fecha: Febrero 2004

Nº FDS: 089 B

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA	5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS
<p>Nº FDS: <b>089 B</b></p> <p>Nombre de producto: <b>NITRÓGENO LÍQUIDO</b></p> <p>Fórmula química: <b>N<sub>2</sub></b></p> <p>Uso del producto: Inertización de atmósferas. Congelación de productos.</p> <p>Identificación de la empresa: <b>PRAXAIR</b> s/Orense, 11 28020 - MADRID 91 453 80 00</p> <p>Teléfono de emergencia:</p> <p>Transporte de líquido: 91 087 44 53</p> <p>Instalaciones: 91 775 23 14</p> <p>Gases especiales: 91 786 34 32</p>	<p>Riesgos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* No inflamable.</li> <li>* La exposición al fuego de los recipientes puede causar su rotura o explosión.</li> </ul> <p>Productos peligrosos de la combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ninguno.</li> </ul> <p>Medios de extinción adecuados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Se pueden utilizar todos los agentes extintores conocidos.</li> </ul> <p>Medios específicos de actuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Si es posible detener la fuga de producto.</li> <li>* Sacar los recipientes al exterior o eliminarlos con agua pulverizada desde un lugar seguro.</li> </ul> <p>Equipo de protección especial para la actuación en incendios:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* No específicos por el producto. En espacios confinados se recomienda utilizar equipo de respiración autónoma de presión positiva.</li> </ul>
<p><b>2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES</b></p> <p>Sustancia o mezcla: Sustancia</p> <p>Componentes e impurezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Nitrógeno</li> <li>* No contiene otros componentes o impurezas que puedan modificar la clasificación del producto.</li> </ul> <p>Nº CAS: 07797-37-6</p> <p>Nº CEE (según EINECS): 231 / 90 9</p>	<p><b>6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE ESCAPE O VERTIDO ACCIDENTAL</b></p> <p>Precauciones personales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Evacuar el área afectada.</li> <li>* Usar ropa de protección.</li> <li>* Utilizar equipos de respiración autónoma cuando se entre en una zona contaminada, a menos que se compruebe que la atmósfera es respirable.</li> <li>* Asegurar la adecuada ventilación en el área.</li> </ul> <p>Precauciones para la protección del medio ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ninguna. El producto no es contaminante del medio ambiente.</li> </ul> <p>Medidas a tomar en el área afectada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Intentar detener el escape.</li> <li>* Prevenir la entrada de producto en las alcantarillas, sótanos, fosos de trabajo o cualquier otro lugar donde la acumulación pudiera ser peligrosa.</li> <li>* Las fugas de líquido pueden producir fragilidad en materiales estructurales.</li> </ul> <p>Métodos de limpieza:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Ventilar el área afectada.</li> </ul>
<p><b>3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Gas licuado a temperatura criogénica.</li> <li>* El contacto con el producto puede producir quemaduras por frío o congelación.</li> <li>* Puede causar asfixia en altas concentraciones por desplazamiento del aire.</li> </ul> <p><b>4. PRIMEROS AUXILIOS</b></p> <p>Asistencia médica inmediata:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Seguir las indicaciones de los apartados siguientes.</li> </ul> <p>Inhalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Los síntomas de asfixia pueden incluir vértigos, dolor de cabeza, náuseas, pérdida de coordinación y la pérdida de conciencia o movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de que se asfixia.</li> <li>* Retirar a la víctima a una zona no contaminada llevando colocado un equipo de respiración autónoma de presión positiva.</li> <li>* Mantener a la víctima caliente y en reposo.</li> <li>* Aplicarle la respiración artificial, si es preciso.</li> <li>* Llamar al médico.</li> </ul> <p>Contacto con la piel y los ojos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Lavar los ojos inmediatamente, al menos durante 15 minutos. Levantar los párpados para mejorar el lavado. Obtener asistencia médica.</li> <li>* En caso de congelación rociar con agua abundante, a temperatura ambiente, la parte afectada al menos durante 15 minutos. Aplicar un vendaje caliente.</li> <li>* Obtener asistencia médica.</li> </ul> <p>Ingestión:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* La ingestión no está considerada como vía potencial de exposición.</li> </ul>	<p><b>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b></p> <p>Manipulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Debe prevenirse la entrada de agua al interior del recipiente.</li> <li>* No permitir el retroceso de sustancias hacia el interior del recipiente.</li> <li>* Utilizar únicamente equipo específicamente aprobado para este producto y para la presión y temperatura de utilización. En caso de duda contacte con el suministrador.</li> <li>* Solicitar al suministrador las instrucciones para la manipulación de los recipientes.</li> <li>* Abrir las válvulas lentamente y cerrarlas cuando no se utilice el producto.</li> </ul> <p>Almacenamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Mantener los recipientes por debajo de 50°C, en un lugar bien ventilado.</li> <li>* Cumplir la ITM-MIF-APC 006 del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos.</li> </ul> <p>Usos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Inertización de atmósferas.</li> <li>* Congelación de productos.</li> </ul>

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

### Valores límites de exposición

\* No establecidos

### Controles de la exposición:

\* Mantener ventilación suficiente para no generar atmósferas deficientes en oxígeno.

### Controles de la exposición profesional:

\* Asegurar una ventilación adecuada.

\* Proteger los ojos, la cara y la piel de las salpicaduras de líquido.

### Equipo de protección individual:

\* Proteger los ojos del líquido mediante pantalla facial o gafas cerradas (EN 188)

\* Proteger las manos del contacto con el frío mediante guantes aislantes o impermeables (EN 311).

\* Proteger el cuerpo de las salpicaduras de líquido con camisas de manga larga y pantalones largos sin dobladillo.

### Exposición del medio ambiente:

\* No aplicable

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto: Líquido incoloro a muy baja temperatura.

Olor: Sin olor que advierta de los riesgos de su presencia.

Peso molecular: 28

Temperatura de fusión: 210° C.

Temperatura de ebullición: 150,00° C

Temperatura crítica: 146,96° C

Densidad relativa del gas (aire = 1): 0,98 a 15° C

Densidad relativa del líquido (agua = 1): 0,60 a -100,8° C

Presión crítica: 54 bar

Solubilidad en agua: 15,0 cm<sup>3</sup> a 20° C

Temperatura de autoinflamación: No aplicable.

Rango de inflamabilidad: No aplicable

### Otros datos:

\* El producto es menos pesado que el aire, pero los gases fríos pueden acumularse en espacios confinados, particularmente en sótanos y a nivel del suelo.

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

### Condiciones que deben evitarse:

\* Estable en condiciones normales.

### Materias que deben evitarse:

\* Estable en condiciones normales.

### Productos de descomposición peligrosos:

\* No aplicable.

\* Estable en condiciones normales.

## 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### General:

\* Asfijante simple

\* No tiene efectos tóxicos agudos

LC50/1h: No aplicable

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### General:

\* Este producto no tiene efectos ecológicos.

\* El líquido o gas frío pueden producir hielo

## 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN DE PRODUCTO

### General:

\* Se puede descargar a la atmósfera.

\* No descargar en lugares donde su acumulación pudiera resultar peligrosa por desplazamiento del aire. Contactar con el suministrador si se necesita orientación.

\* Los residuos que se generen deben eliminarse cumpliendo las disposiciones nacionales, autonómicas y locales vigentes.

## 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Nº de identificación del producto (Nº ONU): 1977

Clase y división: 2.2

Clasificación para transporte por carretera y ferrocarril (ADR/RID): 2,0A

Nº de identificación del riesgo para el transporte por carretera y ferrocarril (ADR/TPF/RID): 22

Etiquetas de peligro para el transporte por carretera y ferrocarril (ADR/RID): Nº 2 (Gas no inflamable, no tóxico)

Recomendaciones de seguridad para caso de accidente (TREMARD): Nº para el producto: 112

Nº para el grupo: 20522

Clasificación transporte por vía marítima (IMDG): 2.2

Clasificación para transporte aéreo IATA/CAO: 2.2

### Otras informaciones para el transporte:

\* Asegurar una ventilación adecuada

\* Asegurar que el conductor conoce los riesgos potenciales de la carga y que sabe que hacer en caso de accidente o emergencia.

\* Transportarlo solamente en vehículos donde el espacio de la carga esté separado del compartimento del conductor.

\* Asegurarse de cumplir la legislación aplicable.

## 15. INFORMACIONES REGLAMENTARIAS

Nº de la sustancia según el Anexo I del Real Decreto 388/1995 sobre etiquetado y sucesivas modificaciones:

\* Sustancia no incluida en el Anexo I

Clasificación CEE: No clasificada como sustancia peligrosa

Pictogramas: No aplicable

Frases R: No aplicable

Frases S: No aplicable

### ETIQUETADO DE LOS RECIPIENTES:

Pictogramas:

\* Nº 2: Gas no inflamable, no tóxico.

Frases de riesgo:

\* Gas líquido a temperatura criogénica.

\* R 45: Asfixiante en grandes concentraciones

\* R 50: Puede causar congelación

Frases de seguridad:

\* S 9: Conservar el recipiente en lugar bien ventilado.

\* S 23: No respirar los gases.

\* S 35A: Usar el equipo protección adecuado

## 16. OTRAS INFORMACIONES

### Otras informaciones:

\* El riesgo de asfixia es a menudo despreciado. Debe ser recordado durante la formación de los operarios.

\* El contacto con el líquido o gases fríos pueden causar quemaduras por frío o congelación.

\* Antes de utilizar el producto en un proceso nuevo o experimento, debe realizarse un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales utilizados

Responsabilidades: Estas instrucciones han sido elaboradas por Praxair en base a las informaciones disponibles a la fecha de las mismas y cubren las aplicaciones más habituales, sin garantizar que su contenido sea suficiente en todos los casos y situaciones. No se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o daños resultantes de su utilización. Su observancia no excluye el cumplimiento de la normativa vigente en cada momento.

**FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD**Producto: **DIÓXIDO DE CARBONO SÓLIDO**

Versión: 5

Fecha: Enero 2002

Nº FDS: 018C

<p><b>1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA</b></p> <p>Nº FDS: <b>018C</b>  Nombre de producto: <b>DIÓXIDO CARBONO SÓLIDO</b>  <b>HIELO SECO</b>  <b>FRICARBO 100</b>  Fórmula química: <b>CO<sub>2</sub></b>  Identificación de la empresa: <b>PRAXAIR</b>  <b>ciOrensse, 11</b>  <b>28020 - MADRID</b></p> <p>Teléfono de emergencia:  Transporte de líquido: <b>91 597 44 58</b>  Instalaciones: <b>91 775 23 14</b>  Gases especiales: <b>91 786 34 32</b></p>	<p><b>5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS</b></p> <p>Riesgos específicos:  * No inflamable.  * La exposición al fuego de los recipientes puede causar su ruptura o explosión.</p> <p>Productos peligrosos de la combustión:  * Ninguno.</p> <p>Medios de extinción adecuados:  * Se pueden utilizar todos los agentes extintores conocidos.</p> <p>Medios específicos de actuación:  * Sacar los recipientes al exterior o enfriarlos con agua pulverizada desde un lugar seguro.</p> <p>Equipo de protección especial para la actuación en incendios:  * No específicas por el producto. En espacios confinados se recomienda utilizar equipos de respiración autónomos de presión positiva.</p>
<p><b>2. COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES</b></p> <p>Sustancia o mezcla: Sustancia  Componentes e impurezas:  * No contiene otros componentes o impurezas que puedan modificar la clasificación del producto.  Nº CAS: <b>00124-98-8</b>  Nº CEE (según EINECS): <b>204 99 9</b></p>	<p><b>6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE ESCAPE O VERTIDO ACCIDENTAL</b></p> <p>Precauciones personales:  * Evacuar el área afectada.  * Usar ropa de protección contra el frío.  * Utilizar equipos de respiración autónomos cuando se entre en una zona contaminada, a menos que se compruebe que la atmósfera es respirable.</p> <p>Medidas a tomar en el área afectada:  * Prevenir la entrada de producto en las alcantarillas, sótanos, zonas de trabajo o cualquier otro lugar donde la acumulación pudiera ser peligrosa.</p> <p>Métodos de limpieza:  * Ventilar el área afectada.</p>
<p><b>3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS</b></p> <p>* Sólido CRIGÉLNICO.  * El contacto con el producto puede producir quemaduras por frío o congelación.  * El gas desprendido puede causar asfixia en altas concentraciones por desplazamiento del aire.  * Riesgo de explosión de recipientes cerrados al gasificarse.</p>	<p><b>7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO</b></p> <p>* Utilizar únicamente equipo específicamente aprobado para este producto y para la presión y temperatura de utilización. En caso de duda contactar con el suministrador.  * Mantener los recipientes en un lugar bien ventilado.  * Solicitar al proveedor las instrucciones para la manipulación de los recipientes.  * No almacenar ni transportar los recipientes cerrados herméticamente.</p>
<p><b>4. PRIMEROS AUXILIOS</b></p> <p><b>Inhalación:</b>  * Los síntomas de asfixia pueden incluir la pérdida de conciencia o movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de que se asfixia.  * Concentraciones pequeñas de producto (3 a 5 %) provocan aumento de la frecuencia respiratoria y dolor de cabeza.  * Refinar a la víctima a una zona no contaminada llevando colocado un equipo de respiración autónomo de presión positiva.  * Mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar al médico. Aplicarle la respiración artificial, si es preciso.</p> <p><b>Contacto con la piel y los ojos:</b>  * Lavar los ojos inmediatamente, al menos durante 15 minutos. Levantar los párpados para mejorar el lavado.  * En caso de congelación rociar con agua abundante, a temperatura ambiente, la parte afectada al menos durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril.  * Obtener asistencia médica.</p> <p><b>Ingestión:</b>  * En caso de congelación por ingestión dar a beber líquidos.  * Obtener asistencia médica.</p>	

## 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

### Valores límites de exposición

VLA-ED: 0.000 ppm

VIA-PC: 10.000 ppm

### Protección personal:

- \* Asegurar una ventilación adecuada, en especial si se trabaja en lugares confinados.
- \* Proteger los ojos, la cara y la piel del contacto con el producto.
- \* Utilizar equipo de protección individual adecuado.

## 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Peso molecular:	44
Temperatura de fusión:	66,6° C
Temperatura de sublimación:	-78,00° C
Temperatura crítica:	31.017° C
Presión crítica:	5,10 bar
Densidad relativa del gas (aire = 1):	1,52 a 15° C
Densidad relativa del líquido (agua = 1):	0,82 a 16° C
Presión de vapor:	67,3 a 20° C
Solubilidad en agua:	670 cm <sup>3</sup> a 20° C
Apariencia y color:	Sólido blanco
Olor:	Sin olor que advierta de los riesgos de su presencia
Temperatura de autoinflamación:	No aplicable
Rango de inflamabilidad (% de volumen en aire):	No inflamable

\* No inflamable.

### Otros datos:

- \* El gas producido por el producto es más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente en sótanos y a nivel del suelo.
- \* A presión atmosférica el producto se sublima.

## 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- \* Estable en condiciones normales.

## 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### General:

- \* Concentraciones pequeñas de gas producen una rápida insuficiencia circulatoria. Los síntomas son dolor de cabeza, náuseas y vómitos, los cuales puede conducir a la pérdida del conocimiento.

LC 50/1h: No aplicable

## 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

### General:

- \* Cuando se gasifica en grandes cantidades puede contribuir al efecto invernadero.
- \* El sólido o gas frío pueden producir hielo.

## 13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN DE PRODUCTO

### General:

- \* Se debe evitar la gasificación en la atmósfera en grandes cantidades.
- \* No descargar en lugares donde su acumulación pudiera resultar peligrosa por desplazamiento del aire.
- \* No puede verter sobre el terreno, evitando la proximidad con vegetación, que puede congelarse, y su caída a cauces de agua o alcantarillas.
- \* Contactar con el suministrador si se necesita orientación.

## 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Nº de identificación del producto (Nº ONU): 1145

Clase y división: 9

Clasificación para transporte por carretera y ferrocarril (ADR/RID):

\* No especificado, se recomienda transportar como 2,3FA

Nº de identificación del riesgo para el transporte por carretera y ferrocarril (ADR/RID): No aplicable

Etiquetas de peligro para el transporte por carretera y ferrocarril (ADR/RID):

\* No especificado. Se recomienda transportar como Nº 9. Materias con riesgos distintos a los señalizados en las otras etiquetas.

Transporte marítimo, Nº página Código IMCO/IMDG: 9025

Clasificación para transporte aéreo IATA/ICAO: 9

### Otras informaciones para el transporte:

\* Antes de transportar los recipientes asegure una ventilación adecuada.

\* Asegurar que el conductor conoce los riesgos potenciales de la carga y que sabe que hacer en caso de accidente o emergencia.

\* Transportarlo solamente en vehículos dando el espacio de la carga está separado del compartimento del conductor.

\* Asegurarse de cumplir la legislación aplicable.

## 15. INFORMACIONES REGLAMENTARIAS

Nº de la sustancia según el Anexo I del Real Decreto

303/1995 sobre etiquetado:

\* Sustancia no incluida en el Anexo I

Clasificación CEE: No clasificada como sustancia peligrosa

Programas: No aplicable

Frasas R: No aplicable.

Frasas S: No aplicable.

### ETIQUETADO DE LOS RECIPIENTES:

Programas:

\* No aplicable.

Frasas de riesgo:

\* Sólido criogénico.

\* R Ac. Asfixiante en grandes concentraciones.

\* R Fh. Puede causar congelación.

Frasas de seguridad:

\* S 9. Conserve el recipiente en lugar bien ventilado.

\* S 23. No respirar los gases.

\* S 36A. Usar el equipo de protección adecuado.

## 16. OTRAS INFORMACIONES

### Otras informaciones:

\* El riesgo de asfixia es a menudo despreciado. Debe ser recordado durante la formación de los operarios.

\* El contacto con el sólido o gases fríos puede causar quemaduras por frío o congelación.

\* Antes de utilizar el producto en un proceso nuevo o experimento, debe realizarse un estudio completo de seguridad y de compatibilidad de los materiales utilizados.

### Responsabilidades:

Estas instrucciones han sido elaboradas por Praxair sobre la base de las informaciones disponibles a la fecha de las mismas y sobre las aplicaciones más habituales; sin garantizar que su contenido sea suficiente en todos los casos y situaciones. No se acepta ninguna responsabilidad por las lesiones o daños resultantes de su utilización. Su observancia no excluye el cumplimiento de la normativa vigente en cada momento.